

# ANREGUNG

ZUR

# REFORM DER PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN.

# ANREGUNG

ZUR

# REFORM DER PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

VON

DR. F. JEŽEK.

---

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXTE.

STUTTGART
HOBBING & BÜCHLE
1896.

# Vorwort.

Das vorliegende Werk verfolgt den Zweck, an der Hand neuester Entdeckungen eine Reform der Physiologie des Menschen anzubahnen.

Dem Plane gemäss, der aus dem Inhaltsverzeichnis ersichtlich ist, enthält das Werk zwei Teile: der erste Teil umfasst die Untersuchungen der physiologischen Bahnen des Stoffwechsels und schildert die Umwälzung der Ernährungsphysiologie; der zweite Teil setzt sich aus vier Abschnitten zusammen, deren Inhalt sich auf die Reform der Physiologie der Verdauung, Ernährung, Atmung u. s. w. bezieht.

Theorien sind fast gänzlich bei Seite gelassen. Die leitenden Grundsätze der neuen Physiologie sind aus dem Experiment abgeleitet worden. Jeder Zweifel an der Wahrheit der Grundsätze stellt also eine bestimmte Forderung: die Wiederholung, bezw. Nachprüfung der Versuche, auf denen nachstehende Schlüsse sich gründen.

Im Namen aller Mitarbeiter danke ich den Gönnern, welche dieses Unternehmen unterstützt haben.

**Berlin**, 1. April 1896.

**F. Ježek.**

# Inhaltsverzeichnis.

## Erster Teil.

### Untersuchung der physiologischen Bahnen des Stoffwechsels.



## Zweiter Teil.

### Die Grundlage der modernen Physiologie.



## Erster Abschnitt.

### Die Versuchsergebnisse, deren Kenntnis dem Verständnis der normalen Vorgänge im Verdauungsapparat die Wege bahnt.

# Zweiter Abschnitt.

## Die Physiologie der Verdauung.

Seite

# Dritter Abschnitt.



# Vierter Abschnitt.

Erster Teil.

# Untersuchungen der physiologischen Bahnen des Stoffwechsels.

# Einleitung.

Es seien in diesem ersten Teile einige der nächstliegenden und kräftigsten Beweisgründe angeführt, welche, von der Untersuchung der physiologischen Bahnen des Stoffwechsels ausgehend, darthun, dass man die wichtigsten Vorgänge innerhalb der verschiedenen Hohlorgane zum grossen Teil irrig gedeutet hat. Die im ersten Teil besprochene Untersuchung erstreckt sich grösstenteils nur auf die Eruierung der den Fortschritt der Physiologie erschwerenden Dogmen, deren Nichtigkeit durch zahlreiche Versuchsergebnisse entschieden ist. In dem Masse, als die Kenntnis neuer Thatsachen zur Bekämpfung der Irrtümer unentbehrlich schien, sind in diesem Teile auch neue Gesichtskreise eröffnet, um die gegenwärtige Lage der Physiologie der Ernährung übersehen zu können. Die Absicht, welche wir bei Abfassung des vorliegenden Teiles verfolgen, ist lediglich die, den Fachgenossen und den Vertretern des Staates einen Beweis dafür zu liefern, dass die Physiologie der Ernährung einer Reform bedürftig ist. Ob uns das gelungen, darüber möge der Inhalt der nachstehenden Kapitel 1 – 12 entscheiden.

## Erstes Kapitel.

# Untersuchung der Lymphbahn betreff ihrer Einmündung in das Venensystem.

Der Ausgangspunkt dieses Kapitels war nachstehende Frage:

Wie verhält sich der innere Durchmesser des Ductus thoracicus an seiner Einmündungsstelle zu dem des Truncus lymphaticus communis dexter?

Zur Erledigung dieser Frage führen wir folgende Reihe von Versuchen an:

### Erste Versuchsreihe.

Einem durch Chloroform getöteten Hunde wurde der Ductus thoracicus von der Brusthöhle aus nach oben injiziert, ohne ihn an seiner Einmündungsstelle unterbunden zu haben. Bei der Injektion fiel uns die Erscheinung auf, dass die Injektionsmasse nach Füllung des Ductus thoracicus nicht in das Venensystem eingedrungen, sondern nur bis zu der Einmündungsstelle des Ductus thoracicus vorgedrungen war, trotzdem der Druck im Ductus thoracicus erheblich gesteigert wurde. Bei weiterer Drucksteigerung staute sich die Injektionsmasse in dem Milchbrustgang merklich an, ihr Durchtritt aber in die Vena subclavia fand nicht statt. Bei der Untersuchung der Einmündungsstelle bemerkten wir, dass der Ductus thoracicus mit der Vena subclavia nicht in Kommunikation steht.

Dieser interessante Fall veranlasste uns, eingehende Studien über die vermeintliche „Einmündungsstelle" des Ductus thoracicus zu machen.

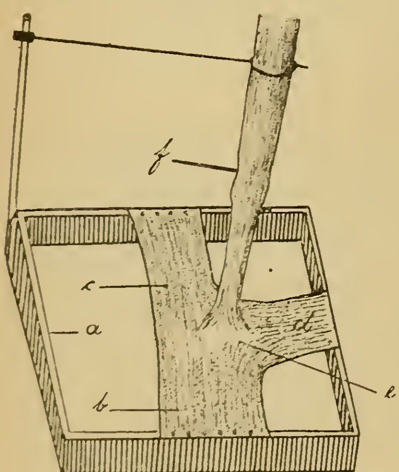
Wir haben nun bei mehreren Tieren den Ductus thoracicus injiziert, ohne ihn an seiner Mündung zu unterbinden; bei jeder Injektion drang die Füllung des Ductus thoracicus bis an seine Mündung vor, und hier staute sich dieselbe an, so dass nicht selten die Zerreissung der Wandungen des Ductus thoracicus erfolgte. An den Präparaten sieht man, dass die Mündung des Ductus thoracicus nicht rund, sondern flach und dünn ist. Ein von diesen Präparaten injizierter Ductus thoracicus eines Hundes befindet sich in der Sammlung des II. anatomischen Instituts der Universität zu Berlin.

Da wir bei jeder Injektion eine Stauung der Injektionsmasse an der Einmündungsstelle des Ductus thoracicus wahrgenommen hatten, so haben wir nun eine Reihe weiterer Versuche auf folgende Art und Weise angestellt.

### Zweite Versuchsreihe.

Bei mehreren durch Chloroform getöteten Hunden wurde das Venensystem von der V. jugularis aus injiziert; 18 Stunden nach der Injektion wurde denselben Tieren der obere Teil des Ductus thoracicus und der zentrale Teil der V. jugularis communis und V. subclavia der linken Seite, sowie die V. anonyma sinistra präpariert und reseziert, um die Einmündungsstelle des Ductus thoracicus zu untersuchen. Behufs der Untersuchung haben wir die resezierten Gefässe der Länge nach, ohne die Einmündungsstelle des Ductus thoracicus zu verletzen, aufgeschnitten und auf einem Holzrahmen, sowie nachstehende Fig. I. zeigt, aufgespannt.

Fig. I.




*a)* Holzrahmen, *b)* V. anonyma, *c)* V. jugularis, *d)* V. subclavia, *e)* Anheftungsstelle des Duct. thoracicus, *f)* Ductus thoracicus.

Das obere Ende des Ductus thoracicus wurde ein wenig gerade nach oben gestreckt und so an dem Holzrahmen befestigt, dass seine Mündung senkrecht zu der ausgespannten Venenwand zu stehen kam. Die an der inneren Gefässwand haftende Injektionsmasse wurde nun sorgfältig entfernt und die innere Oberfläche der Venenwand gereinigt. Bei der Untersuchung der inneren Wandoberfläche der Venen bemerkte man an der Stelle, wo der Ductus thoracicus in das Venensystem einmünden soll, zwei vorspringende Duplikaturen der Tunica intima, die mit einer Schere beseitigt wurden, um die Einmündung des Ductus thoracicus dem Auge zugänglich zu machen. Wir vermochten aber an der betreffenden Stelle eine Öffnung in der Tunica intima nicht aufzufinden, und konnten auch bei der Betrachtung derselben Stelle unter dem Mikroskop nicht die gesuchte Einmündung des Ductus thoracicus wahrnehmen. Ebenso wurden die äussere Gefässhaut und der obere Teil des Ductus thoracicus untersucht. Diese Untersuchung hat die interessante Thatsache ans Licht gebracht, dass der Ductus thoracicus an seiner Mündung in eine Sehne ausläuft, die durch puriforme Verschmelzung seiner Wandungen gebildet und durch die sein oberes Ende auf der Tunica externa der Vena subclavia angeheftet ist.

In der angegebenen Weise wurde auch der Truncus lymphaticus communis

dexter an mehreren Tieren untersucht. In jedem einzelnen Falle haben wir bei Betrachtung der Tunica intima an der Stelle, wo der Truncus lymphaticus communis dexter einmünden soll, eine Klappe bemerkt; wir konnten aber nach ihrer Beseitigung auf derselben Stelle eine Öffnung in der Venenwand nicht nachweisen.

Diese Versuche führten uns zu der Erkenntnis, dass der Truncus lymphaticus communis dexter in das Venensystem nicht einmündet, sondern nur an der äusseren Venenhaut haftet.

Die von uns bei Beginn dieses Kapitels gestellte Frage dürfte hiermit im negativen Sinne Beantwortung gefunden haben; denn obige Versuchsergebnisse beweisen zur Genüge, dass die Hauptstämme des Lymphgefässsystems in das Venensystem nicht einmünden.

## Zweites Kapitel.

# Untersuchungen in betreff des Übertritts von Lymphe in die Blutbahn.

Die Thatsache, dass die weissen Blutkörperchen mit den Lymphkörperchen vollkommen identisch sind, könnte hinreichen, um darzuthun, dass die Lymphe in die Blutbahn gelangen muss.

Was nun den Weg anbetrifft, auf dem die Lymphe in die Blutbahn gelangt, so sind es nicht — wie man bisher glaubte — die Hauptlymphgefässstämme, von denen die Extremitätenlymphe aufgenommen wird. Der Grund für diese Behauptung liegt in der Erkenntnis, dass die Hauptlymphgefässstämme in das Venensystem nicht einmünden, sondern an der Wandung der Schlüsselbeinvenen nur angeheftet sind, (siehe Kapitel 1).

Es müssen daher andere Abzugswege für die Lymphe vorhanden sein, worüber folgende Versuche Aufschluss geben sollen.

### Erste Versuchsreihe.

Wir brachten in mehreren Versuchen $^1/_2$ bis 1 prozentige Na.-J.-Lösung direkt in das Gewebe oder in die Lymphdrüsen ätherisierter Hunde oder Kaninchen. Dies geschah nach Anlegung einer kleinen Öffnung in der Haut der unteren Extremitäten durch allmähliche Injektion von 5 bis 8 Kubikzentimeter jener Lösung mittelst Pravazscher Spritze, deren Kanüle vorn abgestumpft war und die in das Unterhautgewebe vorgeschoben wurde, oder durch tropfenweise bewerkstelligtes Einträufeln der Salzlösung aus der Bürette in einen stumpf angelegten bis an seinen Muskel reichenden Gewebespalt. Um den Eintritt jener Lösung in ein Blutgefäss mit möglichster Sicherheit zu verhindern, wurde alsdann die Extremität bis auf die Artriea und Vena cruralis amputiert.

Unmittelbar nach der Operation wurde eine Blutentziehung aus der Vena cruralis gemacht und durch Untersuchung des Venenblutes in der betreffenden Vene Jod nachgewiesen.

Diese Versuche lehren, dass sich die Venen an der Fortführung eines Teiles der im Quellgebiete der Lymphe vorhandenen Stoffe beteiligen; dieser Vorgang ist übrigens als interstitielle Resorption bekannt.

## Zweite Versuchsreihe.

Nachfolgende Versuche stellen im Grunde genommen nur eine Modifikation der eben beschriebenen Versuche dar; man gewinnt jedoch durch dieselben grössere Sicherheit dafür, dass das in das Gewebe eingebrachte Salz nicht in irgend ein verletztes Blutgefäss eingetreten war.

Die Versuche sind an der sonst allseitig isolierten nur mit Arteria und Vena in Verbindung belassenen Submaxillardrüse des Hundes auf folgende Weise ausgeführt worden.

In den Ausführungsgang der Submaxillardrüse wurde eine Kanüle eingebunden und 2 Kubikzentimeter 0,6 prozent. Na.-J.-Lösung vorsichtig injiziert; die Chorda wurde vor und nach der Injektion gereizt. Die Äste der V. jugularis und die Vene selbst wurden peripher unterbunden.

Zehn Minuten nach der Operation erfolgte die Untersuchung des Venenblutes, die nun ergab, dass in demselben Jod enthalten war.

Dieser Versuch erhellt, dass die Venenzweige, welche zu der Submaxillardrüse gehen, eine rege Resorptionsthätigkeit ausüben müssen, weil das Blut der untersuchten Vene seinen Jodgehalt allein der Beimischung von Injektionsmasse verdanken konnte.

Für die Richtigkeit dieser Schlussfolgerung spricht auch die bekannte Thatsache, dass das Erstickungsblut ausserhalb des Blutes gebildete reduzierende Substanzen enthält, von denen die im Ductus thoracicus befindliche Erstickungslymphe frei ist.

Wir stellten schliesslich noch Injektionsversuche an den sonst allseitig isolierten, nur mit den Blutgefässen in Verbindung gelassenen Lymphdrüsen an, um die Resorptionsthätigkeit der Venenzweige und der Kapillarnetze zu prüfen, welche in den Lymphdrüsen enthalten sind und in die Venenäste übergehen.

Die Versuchsergebnisse haben uns in zwingender Weise zu dem Schlusse geführt, dass der grösste Teil der gesamten Lymphe aus den Lymphdrüsen durch die Kapillarnetze der Venenendungen in die Blutbahn geschafft wird.

Ein weiterer Beweis für die Richtigkeit dieses Schlusses liegt in der grossen Abnahme der Lymphkörperchen, nachdem die Lymphe die Lymphdrüsen passiert hat.

Die Lymphdrüsen, welche von weissen Blutkörperchen erfüllt sind, geben darnach einen Teil von ihrem Inhalte direkt an die Blutbahn ab, während der Rest

durch die Vasa Lymphatica efferentia abfliesst. Wozu nun der Lymphrest verwendet wird, soll auf anderer Stelle erklärt werden.

Die Menge des Lymphrestes hängt von dem Blutverbrauch ab; auch der durch Aderlass verursachte Verlust an Blut wird, wie diesbezügliche Versuche lehren, durch Übertritt von Lymphresten in die Blutbahn sofort gedeckt.

Es kann daher ein Blutverlust durch die Lymphreste ersetzt werden, ohne dass der mittlere Blutdruck sinkt. Jeder Blutverlust kann Oligocythämie zur Folge haben, wenn er entsprechend gross war, mit genügender Schnelligkeit erfolgt ist und die verloren gegangene Blutmenge durch die Lymphreste ersetzt wurde. Folglich müssen die Lymphdrüsen und die Gewebe bereits ein gewisses Mass von Flüssigkeit verloren haben, ehe sich die allgemeine Oligämie auch am Blute selbst geltend macht.

Auf Grund der angeführten Versuche lässt sich mit voller Sicherheit schliessen, dass die zur Regenerierung des Blutes erforderliche Lymphe aus den Lymphdrüsen direkt durch die zarten Wände der Kapillarnetze, welche in den Lymphdrüsen zahlreich vorhanden sind, in die Blutbahn je nach Bedarf übertritt.

## Drittes Kapitel.

# Die Stromrichtung der Lymphe im rechten und linken Lymphgefässstamm.

Nach der Entdeckung der Lymphgefässe durch Caspar Aselli (1622) ist die Asellische Lehre von der Lymphbewegung, nach welcher der Inhalt des Ductus thoracicus in der Norm der V. subclavia der linken Seite und der des Truncus lymph. commun. dext. der V. subclavia der rechten Seite zufliessen und sich in dieselben ergiessen soll, für richtig anerkannt worden.

Jetzt, wo wir durch exakte Versuche nachgewiesen haben, dass die Hauptlymphstämme in das Venensystem überhaupt nicht einmünden, muss die Asellische Theorie schon vom anatomischen Standpunkte aus als unrichtig bezeichnet werden.

Die Vorstellung, dass die Stromrichtung der Lymphe durch die innerhalb der Lymphgefässe befindlichen Klappen bedingt sei, zwingt uns dazu, vor allem die Klappen des Ductus thoracicus zu untersuchen.

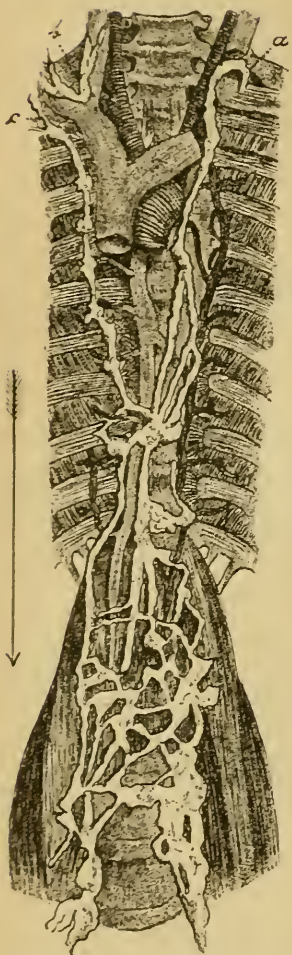
Die Untersuchung ergab folgendes:

Bei Betrachtung der inneren Wandoberfläche des Ductus thoracicus bemerkt man an den Stellen, wo sich fibröse Ringfasern (Henle) in den Wandungen befinden, zarte Maschenwerke mit Lymphzellen versehen, — es sind dies die sogen. Klappen des Ductus thoracicus. Die Zahl der Klappen ist namentlich im unteren Teil des Ductus thoracicus geringer als bei anderen Lymphgefässen. Diese Klappen sind aber so angeordnet, dass sie dem Lymphstrome, welcher sich in der Richtung vom oberen Teil des Ductus thoracicus gegen die Cisterna chyli bewegt, keinen Widerstand entgegensetzen.

Thatsächlich lässt sich der Ductus thoracicus von der Brusthöhle aus nach unten am leichtesten injizieren.

Wir glauben, dass weitere Untersuchungen zur Ermittelung der natürlichen Lymphstromrichtung im Ductus thoracicus nicht nötig erscheinen; denn die im ersten

Fig. II.



*a* Truncus lymph. comm. dexter, *b* oberes Ende des Ductus thoracicus, *c* Gl. intercostales.

Kapitel angeführten Thatsachen, dass die Hauptlymphgefässstämme in das Venensystem nicht einmünden, dürfte wohl hinreichend sein, um mit voller Sicherheit schliessen zu können, dass der Lymphstrom im Ductus thoracicus stets in der Richtung gegen die Cisterna chyli sich bewegen muss, weil kein Ausweg für den Lymphstrom am oberen Ende des Ductus thoracicus vorhanden ist.

Was die Lymphmenge anbetrifft, welche durch die beiden Hauptlymphstämme der Cisterna chyli zugeführt wird, so ist bereits im zweiten Kapitel nachgewiesen worden, dass die Venen den grössten Teil der gesamten Lymphe direkt aus den Lymphdrüsen entnehmen, so dass nur der Lymphrest von den Hauptlymphstämmen aufgenommen und durch dieselben der Cisterna chyli zugeführt wird. Die Cisterna chyli steht unmittelbar mit beiden Hauptlymphstämmen, sowie mit den Lymphgefässen der unteren Extremität in Verbindung und stellt gewissermassen einen zentralen Behälter für die Lymphreste dar. Jedoch müssen wir an dieser Stelle kurz erwähnen, dass eine erhebliche Menge von dem Lymphrest durch die Drüsen der Bauchhöhle, wie Leber, Milz etc. verbraucht wird, was im zweiten Teil ausführlich besprochen wird.

Fassen wir das Gesagte zusammen, so ergiebt sich der Schluss, dass der Lymphstrom sowohl im Trunc. lymph. comm. dexter, als auch Ductus thoracicus sich in der Richtung gegen die Cisterna chyli bewegt, um sich in dieselbe zu ergiessen. Wozu nun die Lymphe aus der Cisterna chyli verwendet wird, ist aus folgendem Kapitel ersichtlich.

## Viertes Kapitel.

# Ursprung und Stromrichtung des Chylus.

In den Thatsachen, welche wir durch vorerwähnte Versuche ermittelten, liegen schlagende Beweise für die Unwahrscheinlichkeit der bestehenden Theorie vom Ursprung und Bewegung des Chylus, wonach die Chylusflüssigkeit aus dem Darm stammen und aus dem zentralen Zottenraum durch die periodisch wiederkehrenden Kontraktionen der Zottenmuskeln in die Anfänge der Chylusgefässe hineingetrieben werden sollte, dessen Rückfluss die nächste Klappe der Chylusgänge verhindern sollen.

Behufs Prüfung dieser Theorie haben wir vor allem diese Klappen, die zu den Hauptfaktoren gehören, von denen die Fortbewegung des Chylus nach einer bestimmten Richtung abhängt, einer eingehenden Untersuchung unterzogen.

Die unerwarteten Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich durch folgendes erläutern:

Bei der Betrachtung der inneren Wandoberfläche der Chylusgänge bemerkt man an der Stelle, wo sich knotenförmige Auftreibungen an den entleerten Chylusgefässen befinden, eigentümliche Gebilde mit zentraler Ausbuchtung, welche auf fibrösen Ringfasern geordnet aufsitzen; es sind dies die sogenannten Klappen der Chylusgefässe. Diese Klappen scheinen jedoch so an der Wandung geordnet zu sein, dass sie dem Chylus gestatten, von der Cisterna chyli nach der Darmschleimhaut zu strömen.

Als Beleg für die Richtigkeit dieser Vorstellung dienen die Injektionsversuche, welche wir an den Chylusgefässen auf folgende Art und Weise anstellten.

Einem soeben getöteten Hunde wurde die Bauchhöhle eröffnet und das Mesenterium, sowie ein ca. 5 cm breiter Streifen von dem mit letzterem zusammenhängenden Peritonealüberzug präpariert; das Mesenterium ist aber von dem Darmstück, das behufs der Injektion samt dem Mesenterium aus der Bauchhöhle entfernt wird, nicht losgetrennt worden.

Die Länge des Darmstückes hat ungefähr 25 cm betragen; das Darmstück wurde mit Wasser von 36° C. beschickt, also im Inneren gereinigt und auf einem Ende

durch Naht geschlossen, während ein Kautschukrohr in das andere Ende eingebunden wurde. Der mit dem Darmstück zusammenhängende Teil des Mesenterium wurde allein zur Injektion verwendet. Wir befestigten vor der Injektion die präparierten Platten des Peritonealüberzuges auf eine Holzscheibe, welche in die weite Mündung eines Glastrichters genau passte und in der Mitte kleine Öffnungen hatte, sodass die Vasa efferentia der Gl. mesentericae unter diese Öffnungen zu liegen kam. Wir brachten schliesslich das an der Holzscheibe befestigte Präparat in den Trichter ein und befestigten das freie Ende des Kautschukrohres an die enge Öffnung des Trichters, während die Holzscheibe in die weite Mündung des Trichters eingedrückt wurde.

Wenn man nun Injektionsmasse (Alkaninlösung) auf die unterhalb der Öffnung liegenden Gekrösdrüsen tropft und durch rhytmisch wiederholtes Saugen von der engen Öffnung des Trichters her die Luft innerhalb des Dünndarmes periodisch wiederkehrend verdünnt, so bemerkt man, dass sich die Gekrösdrüsen mit der Injektionsmasse füllen, von welchen aus die Füllung erst in das Chylusgefässnetz und endlich in den Zottenraum gelangt.

Es kann dem Gesagten nach keinem Zweifel unterliegen, dass die Klappen der Chylusgefässe dem Chylusstrom gestatten, von der Cisterna chyli nach dem Darm zu strömen.

Jetzt, wo wir Aufschluss über die Klappen haben und die Saugkraft der sich periodisch wiederkehrend ausdehnenden Zottenräume, sowie die Wegsamkeit der Chylusgefässe kennen, führt uns die einfache Überlegung zu der Vermutung, dass der Abfluss der Lymphreste aus der Cisterna chyli durch die Chylusgefässe nach dem Darm zu erfolgen muss, weil der Ductus thoracicus in die V. subclavia nicht einmündet.

Die Frage nach dem Ursprunge des Chylus lässt sich auf Grund obiger Erfahrung dahin entscheiden, dass der Chylus in der Cisterna chyli und in den Gekrösdrüsen aus Lymphresten sich hauptsächlich bildet. Die Entscheidung dieser Frage stützt sich ferner auf die Thatsache, dass die Lymphkörperchen mit den Chyluskörperchen vollkommen identisch sind.

Die interessante Frage nach der Stromrichtung des Chylus kann man auf Grund obiger Versuche dahin beantworten, dass der Chylusstrom sich in der Richtung gegen den Darm bewegt.

Für diese Behauptung sprechen auch folgende Gründe:

1. die interessante Entdeckung, dass die Schleimhaut des Darmes mit wandernden Lymphkörperchen bezw. Chyluskörperchen reichlich erfüllt ist, lehrt, dass die Lymphkörperchen nur aus den Lymphgefässen durch die Chylusgefässe nach dem Darm gelangen konnten;

2. die Versuche an in sich geschlossenen Darmschlingen, durch welche sich nachweisen lässt, dass die Flächeneinheit des isolierten Darmes die gleiche Kotmenge produziert wie die Flächeneinheit des übrigen (hungernden) Darmes; ebenso steigt bei mässiger Nahrungsaufnahme der N.-Gehalt des im isolierten Darme enthaltenen Kotes fast um die gleiche Grösse wie im übrigen Darm (L. Herrmann, Voit u. a.). Es folgt daraus, dass unter den gegebenen Bedingungen der Kot nur aus den Lymphresten, welche durch die Chylusgefässe nach dem Darm gelangt sind, produziert wird.

Vorerwähnte Thatsachen allein dürften wohl hinreichend sein, um mit grösster Sicherheit zu schliessen, dass der Chylusstrom sich in der Richtung nach dem Darm zu bewegt.

## Fünftes Kapitel.

# Umsturz der Lehre von der Resorption durch die Chylusgefässe.

Den allgemeinen Nachweis dafür, dass durch die Chylusgefässe eine Resorption im Darmkanal nicht stattfindet, haben wir im vorhergehenden Kapitel gebracht. Gegen die Lehre von der Resorption im Darm durch die Chylusgefässe sprechen noch folgende Gründe:

1. Der Ductus thoracicus mündet nicht, wie man früher gewollt hat, in die Vena subclavia ein; folglich kann die Chylusflüssigkeit nicht in das Venensystem abfliessen, und die Resorption aus dem Darm durch die Chylusgefässe ist danach nicht vorstellbar.

2. Der Chylus verdankt seinen Ursprung unmittelbar der Lymphe (Kap. IV.), er wird also nicht, wie gelehrt wurde, durch die Chylusgefässe aus dem Darm resorbiert.

3. Der Zuckergehalt des Chylus erscheint nach beliebiger Nahrung sowie im Hunger etwa gleich gross; infolgedessen haben sich auch schon früher andere Forscher dahin ausgesprochen, dass derselbe nicht aus dem Darm, sondern aus der Lymphe stamme.

4. Bei übermässiger Fütterung finden sich die Eiweisssubstanzen in der Chylusflüssigkeit nicht vermehrt vor; es folgt daraus, dass die zu Peptonen assimilierten Eiweisse auf einem andern Wege und nicht durch die Chylusgefässe aus dem Darm entweichen.

5. Aus dem Ileum verschwindet eine grosse Menge von Gallensäuren, und man findet dieselbe nicht in der Chylusflüssigkeit vor, was auch gegen die Resorption durch die Chylusgefässe spricht.

6. Der Chylusstrom bewegt sich von der Cisterna chyli nach dem Darm zu, wie im vorhergehenden Kapitel nachgewiesen wurde; die Resorption im Darmkanal durch die Chylusgefässe ist daher undenkbar.

Wir glauben, dass die angeführten Thatsachen genügen werden, um zu beweisen, dass die Lehre von der Resorption im Darm durch die Chylusgefässe falsch ist.

## Sechstes Kapitel.

# Untersuchungen über die Resorption durch die Pfortaderwurzeln.

Der Vorgang der Resorption schien auf den ersten Blick unter der Vorstellung, dass Blut und Darmflüssigkeit zwei durch eine Membrane — die Zottenhaut — getrennte Flüssigkeiten sind, die sich ähnlich wie in einem Dialysator verhalten, der Erklärung keine Schwierigkeiten zu bieten. Man nahm noch vor kurzer Zeit allgemein an, dass der Austausch zwischen Darminhalt und Blut nach den Gesetzen der Diffusion und Endosmose erfolge. Der Übergang von Wasser in das Blut sollte durch das früher angegebene hohe endosmotische Äquivalent der im Blut befindlichen Eiweisskörper, welche einen Wasserstrom aus dem Darm in das eiweissreiche Blut begünstigt, veranlasst werden.

Die Aufsaugung der Peptone sollte in Folge des grossen Unterschiedes im endosmotischen Äquivalent zwischen denselben und dem rohen Eiweiss ebenfalls nach physikalischen Gesetzen geschehen; während durch Adamkiewicz, Malz u. a. heute erwiesen ist, dass das vermeintliche hohe Diffusionsvermögen der Peptone thatsächlich nicht vorhanden ist.

Nachdem man lange darum gekämpft, was Pepton sei und was nicht, hat man denselben nicht nur sein hohes Diffusionsvermögen genommen, was so bequem für die Lehre von der Resorption und damit für die Ursache, respektive den Zweck der Peptonisierung zu verwerten war, sondern man will denselben auch jede tiefere Strukturveränderung gegen das native Eiweiss absprechen.

Überblickt man die in den letzten Jahren veröffentlichten Arbeiten, welche Auskunft über den gegenwärtigen Stand der schwebenden Fragen geben, so wird man zum Teil geradezu durch dieselben angeregt, die Lehre von der Resorption im Darm durch die Pfortaderwurzeln eingehend zu untersuchen.

Die Untersuchung ist von uns nach mehreren Methoden ausgeführt worden; die erste Methode beruht auf folgender Überlegung. Bestimmt man die Zahl der Blutkörperchen einer Blutprobe eines hungernden Individuums und giebt demselben hierauf eine bestimmte Menge von Milch, Wasser oder Bier etc., so müsste es zur

Verdünnung des Blutes kommen, deren Grad man durch eine erneute Zählung der zelligen Elemente des Blutes bestimmen kann. Sobald es zutrifft, dass die aufgenommenen Nährflüssigkeiten thatsächlich durch die Blutkapillaren resorbiert werden, liesse sich die resorbierte Menge nach folgender Formel berechnen.

$$x = \frac{c \cdot b}{a - b}.$$

$a$ = Zahl der Blutkörperchen der ersten Blutprobe pro mm 3.

$b$ = Zahl der Blutkörperchen der zweiten Blutprobe pro mm 3.

$c$ = Menge der resorbierten Flüssigkeiten.

Für die Richtigkeit dieser Methode dient als Voraussetzung, dass eine relative Verminderung der Blutkörperchen in der Raumeinheit erfolgen muss, wenn eine Menge zellloser Flüssigkeit, wie Wasser, Salzlösung etc., in die Blutbahn gebracht wird. Dass der Übertritt einer bestimmten Menge zellloser Flüssigkeit in die Blutbahn stets eine relative Verminderung der Blutkörperchen in der Raumeinheit bedingt, ist durch folgende Versuche sicher gestellt.

Einem Hunde von 32 kg Körpergewicht wurden 450 $cm^3$ Blut entnommen. Nachdem seine Blutkörperchenzahl, die vor diesem Eingriff 6.600.000 betragen hatte, innerhalb 45 Minuten auf 5.200.000 sank, erhielt der Hund von neuem Aderlass von 595 $cm^3$. Nach weiteren 35 Minuten sank die Blutkörperchenzahl auf 3.780.000.

Ein Kaninchen von 1370 gr Körpergewicht erfährt eine Blutentziehung von 30 $cm^3$. Vorher war die Zahl der Blutkörperchen 4.950.000, $1^3/_4$ Stunden nachher 2.210.000.

In dem Masse, als die Resorptionsgrösse zunimmt, muss auf Grund obiger Erfahrung die Zahl der Blutkörperchen in der Raumeinheit nach jeder Nahrungsaufnahme abnehmen, wenn die zelllose Darmflüssigkeit in die Blutbahn übertritt. Dementgegen nimmt die Zahl der Blutkörperchen nach der Nahrungsaufnahme erheblich zu. Folgende Beispiele mögen die Resultate der Zählung illustrieren.

Eine 73 Jahre alte, aber sonst gesunde Frau, die in sehr ungünstigen Verhältnissen lebte, liess pro cbmm vor der Nahrungsaufnahme 3000 und $2^1/_2$ Stunden nach derselben 5400 weisse Blutkörperchen zählen.

Bei einem kräftigen, gut genährten 28jährigen Mann fand man vor der Mahlzeit 12000, drei Stunden nach derselben 14000 weisse Blutkörperchen pro cbmm.

In Analogie mit der Verdauungsleukocythose wurde auch eine Zunahme der roten Blutkörperchen in der Raumeinheit während, bezw. nach der Verdauung erwiesen (Wilbenchewitch, Loerencen, Buntzen u. a.).

Diese anfänglich mehr als Kuriosa notierten Befunde gewannen ein besonderes Interesse, als man in denselben gewichtige Beweise für die Unwahrscheinlichkeit

der Lehre von der Resorption im Verdauungskanal durch die Blutkapillaren erkannte. Aus weiteren Versuchen, in denen der Inhalt der Blutgefässe vor und während, bezw. nach der Verdauung auf die resorbierten Substanzen untersucht wurde, hat sich eine Differenz des Blutes als Folge der Anwesenheit der vom Blut aufgesaugten Nährsubstanz nicht ergeben. Wenn demnach die Auffassung, dass Wasser und alle darin gelösten Substanzen aus dem Darm durch die Pfortaderwurzeln resorbiert werden, nicht mehr haltbar ist, so kennen wir auch noch andere Thatsachen, welche das Schema der Resorption im Darm durch die Blutkapillaren nicht befriedigt. Hierher gehören die in folgendem Kapitel angeführten Momente.

## Siebentes Kapitel.

# Haltlosigkeit der Lehre von der Resorption durch die Pfortader.

Die Resorptionstheorie fand anscheinend ihre experimentelle Stütze in einigen Versuchen, die teils von Funke, teils von Becher u. a. angestellt, zeigten, dass Salzlösungen, Zucker- und Peptonlösung, in abgebundene Darmschlingen injiziert, nach mehr oder weniger langer Zeit und entsprechend ihren Kontraktionsverhältnissen aus der Schlinge verschwanden. Es ist aber selbstverständlich, dass solche Versuche nur die Menge der auf irgend einem bis heute unbekannten Wege aus der Darmschlinge verschwundenen Lösungen, aber nicht den vermeintlichen Resorptionsvorgang kennen lehren.

Eine Marke, die gestattete, die aus dem Darm verschwundenen Stoffe, wie Gallensäure, Ptyalin, Leucin, Tyrosin u. a. auf dem Wege ins Blut zu verfolgen, respektive im Blute wiederzuerkennen, hat man trotz vieler darauf gerichteter Versuche nicht gefunden.

Die Forschung hat uns in den letzten Jahren mit einer Fülle neuer Thatsachen beschenkt, für welche die Annahme, dass der tropfbar flüssige Darminhalt zum grösseren Teil durch die Pfortaderwurzeln resorbiert wird, nicht ausreicht.

Hierher gehören folgende Momente:

1. Spritzt man Filtrat des Mageninhalts ins Blut, so entfaltet es, selbst in kleinen Mengen injiziert, eine merkwürdig toxische, das Zentralnervensystem deprimierende Wirkung und kann den Tod der Tiere zur Folge haben. Wenn nun die Pfortaderwurzeln thatsächlich zur Resorption der Flüssigkeiten im Darm bestimmt wären, so hätten die Tiere nach der Injektion ungestört weiter leben müssen.

2. Die spezifischen Bestandteile der Verdauungssäfte, von denen ein Teil aus dem Verdauungsapparat verschwindet, besitzen im hohen Grade die Fähigkeit, die Blutkörperchen verdauend zu modifizieren, wenn dieselben in die Blutbahn gebracht werden. Eine andere merkwürdige Eigenschaft der diastatischen Fermente ist die, in kleineren Mengen in die Blutbahn gebracht, durch Auflösung der weissen Blutkörperchen die Gerinnbarkeit des Blutes aufzuheben, respektive beträchtlich zu ver-

langsamen und den Blutdruck derart herabzusetzen, dass die Tiere daran zu Grunde gehen. Dieselbe Wirkung kommt auch den verschiedenen Albumosen-Peptonen zu. Soviel geht daher aus diesen Erfahrungen mit Bestimmtheit hervor, dass ein Übertritt der verschiedenen Albumosen, diastatischen Fermente, direkt aus dem Darm in die Blutbahn lebensgefährlich wäre.

3. Als interessantes Ergebnis der Versuche von Sehrwald, in denen die Diffusionsgrösse der lebenden Magenwand gegenüber der toten bestimmt wurde, zeigte sich nun, dass der Ausgleich zwischen dem Alkali des Blutes und der Säure des Mageninhalts im lebenden Tiere nicht nach den Gesetzen der Diffusion, als dies an der toten Magenwand statthatte, geschieht. Wollte man aber trotzdem die Aufsaugung im Darm allein nach den Gesetzen der Diffusion geschehen lassen, so müsste, wenn man eine verdünnte Alkohollösung in denselben injiziert, Wasser aus dem Blute in den Darm gehen, während gerade das Umgekehrte geschieht, was entschieden gegen die Resorption im Darm durch die Blutgefässe spricht.

4. Wird die Pfortader einem eben verdauenden Tiere unterbunden, so lässt sich nachweisen, dass die verdauten Stoffe aus dem Darm nach dem Eingriff ebenfalls verschwinden, was in diesem Falle nicht durch die Pfortader, sondern nur auf einem anderen Wege geschehen sein kann.

Hierzu kommt noch folgende Bemerkung: Bamberger sah bei der Obliteration der Pfortader ein dichtes Venennetz um den Kopf des Pankreas und in der ganzen Clisson'schen Kapsel, das als Sammelpunkt für das Pfortaderblut angesehen wurde. Es leuchtet ein, dass, wenn das Pfortadersystem zur Resorption im Darmkanal bestimmt wäre, die Pfortader in solchen pathologischen Fällen nicht in ein Gefässnetz endigen, sondern stets mit der Lebersubstanz in direkter Verbindung bleiben müsste, während bei der Obliteration der Pfortader nicht selten der Ausgangspunkt für das Pfortaderblut die Umgebung des Nabels ist, was ebenfalls gegen die Resorption im Darmkanal durch die Blutkapillaren spricht.

5. Der Querschnitt der Pfortader ist ca. 13mal kleiner als der der Lebervene und der Querschnitt der Arteria mesenterica ist dem der Pfortader gleich. Wenn nun das Pfortadersystem thatsächlich zur Resorption bestimmt wäre, dann müsste der Querschnitt der Pfortader grösser sein, um einmal das Blut der Arteria mesenterica, zweitens die grosse Menge der Nährflüssigkeiten aus dem Darm aufnehmen zu können. Es ist also sowohl vom physikalischen, als auch vom anatomischen Standpunkte eine Resorption im Darm durch die Pfortaderwurzeln nicht vorstellbar.

Aus den angeführten Thatsachen lässt sich mit grösster Sicherheit erschliessen, dass durch die Pfortaderwurzeln keine tropfbaren Flüssigkeiten aus dem Digestionsapparat aufgenommen werden.

Auf welche Art und Weise die aufgenommenen Speisen und Getränke aus dem Verdauungsapparat fortgeschafft werden und wodurch dieselben an ihren Bestimmungsort gelangen, werden wir im zweiten Teil dieser Schrift erklären.

## Achtes Kapitel.

# Untersuchungen betreffs der Nierensekretion.

Aus den im vorhergehenden Kapitel erwiesenen Thatsachen, dass keine Flüssigkeit aus dem Digestionsrohr durch die Blutkapillaren aufgenommen wird, erwuchs für die Forschung die Notwendigkeit, die Ludwigsche Filtrationslehre eingehend zu untersuchen. Dem Untersuchungsplane gemäss folgen zunächst die Versuche, welche sich auf die Nierensekretion, bezw. auf den kontinuierlichen Abfluss des Harnes durch die Ureteren nach der Harnblase beziehen.

### Erste Versuchsreihe.

Anlegung einer Ureterfistel. Das einfachste Mittel, die Lehre von der Nierensekretion zu prüfen, besteht darin, dass man eine anomale direkte Kommunikation zwischen dem Harnleiter und der Oberfläche des Körpers herstellt. Zu diesem Zwecke wird vom Rücken her der Harnleiter eines möglichst abgemagerten Hundes blossgelegt und in denselben ein kurz gebogener Katheter so eingeführt, dass das Sekret der Niere, der Harn, durch denselben direkt ausgeschieden werden könnte. Die Niere darf nicht beschädigt werden, um den vermeintlichen Abfluss des Harns nicht zu benachteiligen.

Die einfache Vorstellung, welche sich aus der Theorie von der Harnausscheidung durch die Niere ergiebt, ist offenbar die, dass es gelingen müsste, den von der Niere fortwährend abfliessenden Harn per Ureterfistel nach aussen abzuleiten. Höchst interessant ist das Resultat dieser Versuche, bei denen sich ein kontinuierlicher Harnabfluss aus der Niere nicht bemerkbar machte; es kam nämlich, trotzdem die Nierenthätigkeit ungestört blieb, nur in den ersten paar Minuten eine unbedeutende Harnmenge aus der Ureterfistel zum Vorschein.

Diese Versuche können nur dahin gedeutet werden, dass die Niere nicht, wie bisher gelehrt wird, ein Sekret durch die Harnleiter kontinuierlich absondert.

Eine grosse Stütze findet diese Ansicht in folgenden Versuchen.

## Zweite Versuchsreihe.

Die Nephrotomie. Es wird bisher die Ansicht vorgetragen, dass die einzelnen Abschnitte der Harnkanälchen in gleichem Masse an der Harnausscheidung teilnehmen. Nach dieser Erklärung wäre nun zu erwarten, dass die normale Harnmenge nach der Exstirpation einer ganzen Niere sich um 50% vermindert, und demgemäss müsste eine Ansammlung des Harns in der Blutbahn stattfinden.

Die Exstirpation einer ganzen Niere wird nach den jüngsten Versuchen ohne jede Schädigung des Lebens auch von Menschen vertragen. Eine bemerkenswerte Folge der einseitigen Nephrotomie ist, wie bekannt, die unverminderte Harnausscheidung und der normale Harngehalt des Blutes. Gleiche Resultate erzielt man auch dann, wenn einem Tiere eine ganze Niere und noch von der anderen Niere ein Teil exstirpiert wird. Es wäre nach unserem Dafürhalten nicht gewagt, hieraus den Schluss abzuleiten, dass der Harn aus dem Blute durch die Nieren wie durch ein Filter nicht abgeschieden wird.

Diese Schlussfolgerung lässt sich durch folgenden Versuch stützen:

## Dritte Versuchsreihe.

Unterbindung der Nierenvene. In Kürze zusammengefasst, ergiebt sich als Resultat aller diesbezüglichen Versuche folgendes:

1. Die Harnabsonderung versiegt, wie bekannt, nach Unterbindung der Nierenvene trotz der folgenden Blutdrucksteigerung.
2. Es bilden sich nach Unterbindung der Nierenvene keine Kollateralen.
3. Der Harnstoff des arteriellen Blutes bleibt nach Unterbindung der Nierenvene normal.

Überblickt man diese Versuchsergebnisse, so machen sich allerdings der Ludwigschen Filtrationslehre gegenüber gewisse Bedenken geltend. Denn nichts steht der Vorstellung entgegen, dass der Harn kein Filtrat des Blutes sei.

Diese Behauptung findet auch in folgendem Kapitel ihre Bestätigung.

## Neuntes Kapitel.

# Umsturz der Lehre von der Filtration des Harns durch die Niere.

Die Gründe, welche offenbar gegen die Filtrationslehre sprechen, sind folgende:

1. Bei Filtration findet niemals eine Auswahl der Stoffe, welche durch das Filter gehen, in dem Masse statt, dass das Filtrat (der Harn) gegen die Muttersubstanz (das Blut) nicht allein quantitativ, sondern auch qualitativ verschieden ist; nachdem die Filtrationslehre einen solchen unmöglichen Vorgang voraussetzt, so kann dieselbe auf thatsächlichem Boden nicht stehen.

2. Es ist in dem hypothetischen Filtrate, dem Harn, ein Bestandteil, nämlich der Harnstoff, in viel grösserer Menge vorhanden als im Blute (der Harnstoffgehalt des Blutes beträgt ca. 0,090 %, der des Harns bei 30 gr täglicher Ausscheidung und 1700 ccm Wasser ca. 2 %), was den Filtrationsgesetzen widerspricht.

3. Es sind in dem hypothetischen Filtrate, dem Harn, mehrere Bestandteile, nämlich Phenol, Kresol, Indol, Skatol u. a. vorhanden, während dieselben im Blute fehlen; es folgt daraus, dass der Harn kein Filtrat des Blutes sein kann.

4. Die Alkalescenz des Blutes wird nach Massgabe des $CO_2$-Gehaltes im Hunger nicht beeinflusst. Es wäre demnach zu erwarten, dass der Harn als Filtrat des Blutes bei vollständiger Inanition auch die alkalische Reaktion beibehalten würde; indes geht derselbe im Hungerzustande sowohl bei Carni- als Herbivoren in die saure Reaktion über, was jedenfalls gegen die Filtrationslehre spricht.

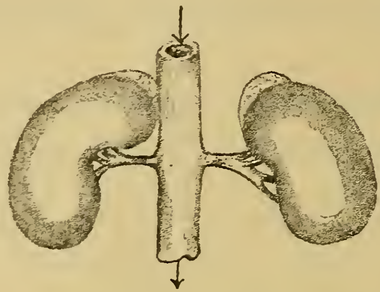
5. Bei nüchternen Hunden wird die Esekretion des Harns fast gar nicht unterhalten, trotzdem das Blut derselben normalen Druck und Gehalt an Wasser und Harnstoff enthält; da in diesem Falle die Filtrationsbedingungen erfüllt sind, so wäre zu erwarten, dass die Harnabsonderung nicht stockt.

6. Die Harnabsonderung steigt nach reichlichem Genuss von Wasser, obgleich Druck und Geschwindigkeit des Blutes unverändert ist, was ebenfalls gegen die Filtrationslehre spricht.

7. Die Harnausscheidung liegt in solchen pathologischen Fällen, wo die Niere im hohen Grad entartet ist, nicht darnieder, was auch gegen die Filtrationslehre spricht.

8. Wäre thatsächlich eine Filtration des Blutes zur Bildung des Harns nötig, so müsste das Filter innerhalb der Aortenwurzel angeordnet sein. Denn das Blut der oberen Körperhälfte, sowie das Blut der Aorta abdominalis könnte durch die Niere nicht filtriert werden, weil es, wie aus Fig. III ersichtlich ist, im Axenstrom weiter strömen kann.

Fig. III.



Anordnung der Nierenarterien zu beiden Seiten der Aorta abdominalis.

Anmerkung: Die geraden Pfeile zeigen die ungestörte Weiterströmung des Axenstromes.

Wir glauben, dass diese Beweise zur Widerlegung der Filtrationslehre hinreichend sind; denn ruft man sich die im Kapitel VIII auf Seite 19 zitierten Thatsachen ins Gedächtnis zurück, dass die Niere durch die Harnleiter keinen Sekret absondert, so kann man aus dem Gesagten mit grosser Sicherheit erschliessen, dass die bestehende Lehre von der Filtration des Harnes durch die Niere haltlos ist.

Wie nun die Harnbildung vor sich geht und auf welche Art und Weise der Harn in die Niere gelangt, sowie alle Erscheinungen der Harnabsonderung, werden wir an anderer Stelle erklären.

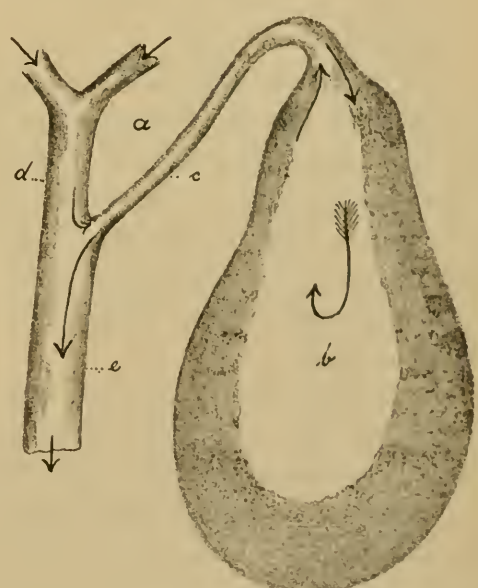
## Zehntes Kapitel.

# Untersuchungen über den Gallenabfluss.

Bei Untersuchung des Gallenabflusses haben wir uns einer Methode bedient, die auf folgender Überlegung beruht:

Der Gallenabfluss, welcher, wie die nebenstehende Fig. IV. zeigt, einen grossen Umweg dadurch macht, dass die Galle nicht direkt in die Darmhöhle, sondern zunächst in die Gallenblase *b* fliesst, müsste direkt nach dem Darm erfolgen, sobald der Ductus cysticus *c* unterbunden wird, ohne dass die Gallenbereitung dadurch gestört wird. Zur Feststellung dieser Voraussetzung sind folgende Versuche angestellt worden.

Fig. IV.




*a)* Die Lebersubstanz, *b)* die Gallenblase, *c)* der Ductus cysticus, *d)* der Ductus hepaticus, *e)* der Ductus choledochus.

Erste Versuchsreihe.

Unterbindung des Ductus cysticus mit darauf folgender Entleerung der Gallenblase.

Durch diese Versuche, die an Hunden, Kaninchen und Katzen ausgeführt wurden, ist nun festgestellt worden:

1. Dass die Gallengänge nach Unterbindung des Ductus cysticus ihren galligen Inhalt allmählich verlieren;

2. Dass der Darm bis zur Bauhinschen Klappe nicht stärker gallig gefärbt war, als der Darm solcher Tiere, welchen die Gallenblase samt den Ductus choledochus exstirpiert worden war. Diese Versuche können nur so gedeutet werden, dass die Galle nicht, wie gelehrt wird, in den

Leberzellen aus heterogenen Stoffen, welche das Blut der Pfortader und der Leberarterie liefern soll, gebildet wird.

Diese Ansicht lässt sich durch folgende Versuche stützen.

### Zweite Versuchsreihe.

Ausschluss der Blutzufuhr nach der Leber.

Wird das Leberarterienblut durch Unterbindung der Arterie von der Leber ausgeschlossen, so bleibt die Gallensekretion ungestört; ebenso bei offener Arterie nach Unterbindung der Pfortader, wie auch bei allmählichem Verschluss der Pfortader, ein Zustand, der als „Obliteration" in pathologischen Fällen vorkommt, dauert die Gallensekretion fort; hierzu kommt noch die Bemerkung, dass sich im letzteren Falle keine Kollateralen anatomisch nachweisen lassen.

Das Pfortaderblut wird also unter den gegebenen Umständen von der Leber ganz ausgeschlossen.

Aus diesen Versuchen geht hervor, dass das Blut beider Gefässe an der Gallenbereitung keinen Anteil hat.

### Dritte Versuchsreihe.

Transfusion der Galle.

Wir legten in mehreren Versuchen nach Eröffnung der Bauchhöhle die Gallenblase bloss und führten in dieselbe eine hierzu konstruierte Stichkanüle ein, um die Galle nach aussen zu entleeren. Nach der Entleerung wurde die Kanüle in dem Ausführungsgange durch eine Ligatur fixiert und eine Infusion mit im Wasser aufgeschwämmten Körpern, wie Russ-Zinnober, gemacht. Der künstlich hergestellte Ausführungsgang der Gallenblase wurde hierauf durch eine Ligatur geschlossen, und nach Entfernung der Stichkanüle erfolgte die Schliessung der Bauchwunde durch Etagennaht.

Nach einiger Zeit (2—8 Tage nach der Operation) sind die Versuchstiere getötet worden; durch die Sektion wurde festgestellt, dass die infundierten Körper sich in den Gallengängen verbreitet haben und bis in die Leberzellen gelangt waren.

Wenn wir auf Grund obiger Erfahrung die Ergebnisse dieser letzten Versuchsreihe diskutieren, so begegnen wir wieder der durch die erste Versuchsreihe konstatierten Thatsache, dass die Galle aus der Leber nach der Gallenblase überhaupt nicht fliessen kann, was endgültig durch folgende Versuche entschieden ist.

### Vierte Versuchsreihe.

Druckmessung in den Gallenwegen.

Der Druck, unter welchem die Galle in der Gallenblase steht, beträgt beim Hunde 220 mm kohlensaures Natron, während der Druck im venösen Leberblut (als

Ausdruck des Druckes der Leberzelle) nur 70 mm derselben Flüssigkeit beträgt; also übertrifft der Druck der Gallenblase den der Leberzellen um ca. 150 mm. Folglich kann ein Gallenstrom von den Punkten niederen Druckes (Leberzellen) nach den Punkten höheren Druckes (die Gallenblase) nicht thätig werden. Zieht man also diese Druckdifferenz, welche zwischen der Gallenblase und den Leberzellen besteht, in Erwägung, so kommt man in zwingender Weise zu dem Schlusse, dass keine Galle aus den Leberzellen nach der Gallenblase abfliesst.

Im nächsten Kapitel bringen wir den Beweis, dass die Gallenbereitung in der Leber überhaupt nicht stattfindet.

Elftes Kapitel.

## Umsturz der Lehre von der Herkunft der Galle.

Durch die vorhergehenden Untersuchungen ist der Beweis dafür geliefert worden, dass keine Galle aus der Leber nach der Gallenblase abfliesst. Hiernach muss die Lehre von der Herkunft der Galle, nach welcher die specifischen Gallenbestandteile in den Leberzellen aus heterogenen Stoffen gebildet werden sollten, rückhaltlos vom Gebiete der exakten Wissenschaft verdrängt werden.

Um die Gründe, welche gegen die Lehre sprechen, leichter zu übersehen, lassen wir dieselben in Kürze nachfolgen.

1. Aus der bekannten Thatsache, dass die Fette durch die Galle emulgiert werden, lässt sich folgern, dass die Fette in der Leber niemals zum Ansatz kommen könnten, wenn die Gallenbereitung innerhalb der Leber thatsächlich stattfinden würde; die Erzeugung der Fettleber ist darnach ein schlagender Beweis dafür, dass keine Galle in der Leber bereitet wird.

2. Die bekannte Thatsache, dass Zucker in der Leber aus dem Glycogen gebildet wird, ist ein schlagender Beweis gegen die alte Lehre von der Gallenbereitung, weil die Gallen- und Zuckerbildung innerhalb der Leberzellen nicht nebeneinander einhergehen können.

3. Wir wissen, dass kein wesentlicher Unterschied zwischen dem Leberblute der Carnivoren und Herbivoren besteht; es müsste hiernach, da die Leberzellen der Fleisch- und Pflanzenfresser gleiche Substanzen beziehen, die Galle der Fleisch- und Pflanzenfresser gleiche Farbe haben; indess ist die Galle der Fleischfresser goldrot und bei den Pflanzenfressern grün gefärbt, was offenbar gegen die Gallenbereitung in der Leber spricht.

4. Die im vorhergehenden Kapitel erwiesene Thatsache, dass der Druck in der Gallenblase bedeutend höher als der Druck in den Leberzellen ist, liefert uns einen schlagenden Beweis für die Unrichtigkeit obiger Lehre; denn würde die Gallenbereitung in der Leber thatsächlich vor sich gehen, so ist der Gallenabfluss nach der Gallenblase unter der gegebenen Druckdifferenz unmöglich.

5. In pathologischen Fällen, wo nur unbedeutende Reste normalen Gewebes in der Leber übrig bleiben, ist die Gallensekretion, wie die galligen Entleerungen bei Lebzeiten lehren, ungestört; es folgt hieraus, dass die Gallenbereitung in der Leber überhaupt nicht stattfinden kann.

Wir glauben, dass die angeführten Thatsachen hinreichen, um schliessen zu können, dass die Lehre von der Herkunft der Galle haltlos ist.

Wie und woraus die Galle gebildet wird, und auf welche Art und Weise dieselbe in die Gallenblase, in die Gallenwege und den Darm gelangt, werden wir an anderer Stelle erklären.

## Zwölftes Kapitel.

# Unhaltbarkeit der Lehre von der Ernährung.

Die bestehende Lehre von der Ernährung ist so fest eingebürgert, dass nur klare und deutliche Beweise für ihre Unhaltbarkeit im stande sind, den Glauben an ihre Richtigkeit zu erschüttern. Überblickt man die vorhergehenden Arbeiten, so machen sich allerdings der Lehre von der Ernährung gegenüber gewisse Bedenken geltend. Denn nichts steht fest, als die Thatsache selbst. Wenn heute die Anschauung, dass der Ductus thoracicus in das Venensystem einmündet, nicht mehr haltbar und damit die frühere Vorstellung über die Resorption im Darm durch die Chylusgefässe gestürzt ist; wenn ferner die Annahme, dass Wasser und alle darin gelösten Substanzen aus dem Verdauungskanal hauptsächlich durch die Pfortaderwurzeln absorbiert werden, ebenfalls nicht haltbar und damit die jetzige Vorstellung über den Vorgang der Ernährung entwertet ist: so lässt sich der Zweifel an der Wahrheit der bestehenden Lehre von der Ernährung allerdings nicht zurückweisen.

Nachdem Harvey lange darum gekämpft, was das Herz im Dienste des Stoffwechsels des Blutes besagt, hat man dem Herzen auf Grund neuer Beobachtungen nicht nur sein Kontraktionsvermögen abgestritten, sondern man muss demselben jede Bedeutung für die Blutbewegung absprechen, weil die bestehende Lehre von der Blutbewegung seit ein paar Jahren in Frage steht. Jedenfalls beweisen die in der Ježekschen Schrift: „Umsturz der Harveyschen Lehre etc.“ angeführten Versuche, dass die Lehre vom Blutkreislauf haltlos ist. Man schenkte aber der Ježekschen Entdeckung wenig Vertrauen, weil man die Existenz des Blutkreislaufes wenigstens bei Fischembryonen nachgewiesen zu haben glaubte.

Bei oberflächlicher Betrachtung der Blutbewegung an Fischembryonen unter dem Mikroskope gewinnt man den Eindruck, dass die Blutbewegung einen Kreislauf beschreibt, dies ist aber nicht der Fall. Denn betrachtet man sorgfältig diese Bewegung nicht nur von oben, sondern auch von der Seite her, so kann man wahr-

nehmen, dass die Bewegung der Flüssigkeit keinen Kreislauf beschreibt. Diese eigentümliche Erscheinung der Bewegung wird nämlich durch den Abfluss der Nährflüssigkeit, welche ausserhalb des Embryo in einem mit letzterem in Kommunikation stehenden Nahrungsdottersack sich befindet, auf folgende Art und Weise hervorgerufen: Die Flüssigkeit fliesst aus dem Nahrungsdottersack direkt in das Embryo, in welchem sich nach Eröffnung der Eihülle eine Randspalte bildet, welche für die Ernährungsflüssigkeit als Abflusskanal dient. Wenn z. B. der Nahrungsdottersack tiefer als das Embryo zu liegen kommt, so hört der Abfluss und somit die Bewegung der Flüssigkeit, die vermeintliche Blutzirkulation auf. Zum Beleg für diese Anschauung, dass ein Kreislauf im Fischembryo nicht existiert, mögen hier die von J. Loeb (Chicago) angestellten Versuche über die Entwickelung von Fischembryonen ohne Kreislauf Erwähnung finden.

Es wurden Embryonen, resp. Eier eines marinen Fisches: Fundulus, aus dem Seewasser, in welchem sie befruchtet worden waren, etwa eine halbe Stunde nach der Befruchtung in eine Lösung von K Cl gebracht. Während Embryonen, bei welchen der vermeintliche Kreislauf bereits im Gange ist, was nach drei Tagen eintritt, schon nach einer Stunde in $^1/_2{}^0/_0$iger Lösung von K Cl zu Grunde gehen, indem anfangs Herzstillstand und hernach krampfhaftige Bewegungen eintreten, gelingt es, nicht nur die eben befruchteten Eier lebendig zu machen, es schreitet auch die weitere Entwickelung fort, obwohl die Zirkulation, welche de norma schon 75 Stunden nach der Befruchtung im Gange ist, fast völlig ausgeblieben ist; dennoch hatten sich bei den Tieren nicht nur das Herz und das Hauptgefässsystem entwickelt, es stimmte auch die feinere Verzweigung der Blutgefässe mit der Norm überein. (Pflügers Archiv L, IV S. 525.)

Jedenfalls ist es im hohen Grade interessant, dass sich ein Lebewesen ohne Kreislauf normal entwickelt.

Nicht unerwähnt möchten wir es endlich lassen, dass man in jüngster Zeit auch die scheinbar feststehende Theorie, dass der durch die Lungen aufgenommene Sauerstoff die kohlenstoffhaltigen Elemente des Blutes verbrenne, in Frage gestellt hat, weil dieselbe mit nachstehender Thatsache in direktem Widerspruche steht. Weder Albuminate noch Fette werden unter gewöhnlichen Verhältnissen, wie sie im Blute gegeben sind, durch atmosphärischen Sauerstoff angegriffen. Dies könnte nur geschehen, wenn der Sauerstoff als Ozon einwirkt, ein Körper, der im Blute, wie Pflüger mit überzeugender Schärfe dargethan hat, noch nicht nachgewiesen ist. Der Sauerstoff ist allerdings im Blute in Form des Oxyhämoglobins, aber so leicht dies auch zerfällt und seinen Sauerstoff an sauerstofffreien Flüssigkeiten abgiebt, die

Oxydationen, wie sie im Tierkörper zu verlaufen scheinen, können nach Hoppe-Seyler durch eine Oxyhämoglobinlösung nicht bewirkt werden.

Aus alledem ist ersichtlich, auf wie unsicherem und schwankendem Boden wir uns hinsichtlich vieler fundamentaler physiologischer Vorgänge noch befinden.

Wenn wir uns die im Kapitel I—VIII angeführten Thatsachen ins Gedächtnis zurückrufen, so kann man auf Grund dieser Erfahrung mit Bestimmtheit erklären, dass die bestehende Lehre von der Ernährung haltlos ist. Ja, es lässt sich weiter aus den Arbeiten, welche im II. Teil folgen, ersehen, dass die in jüngster Zeit von den verschiedenen Forschern ermittelten Thatsachen nicht allein mit der nun als haltlos bezeichneten Lehre von der Ernährung in direktem Widerspruche stehen, sondern es lassen sich durch dieselben alle Erscheinungen der Verdauung und Ernährung etc. ohne Blutzirkulation zwanglos erklären, wenn die Ergebnisse der jüngsten Forschung im Zusammenhange betrachtet werden.

## Zweiter Teil.

# Die Grundlage der modernen Physiologie.

# Einleitung.

Der Titel dieses Buches besagt dessen Aufgaben und Ziele. In unsern Tagen, wo der umsichtige Forscher mit kraftvoller Hand viele bis heute bestehenden Irrtümer stürzt, um dem Fortschritt neue Wege zu bahnen, ist das wissenschaftliche Interesse für die Entwickelung der modernen Physiologie auf das äusserste erregt. Über die Trümmer alter Irrtümer hinweg eilte die moderne Forschung in rastlosem Siegeslauf. Mit apodiktischer Sicherheit stellten die vereinigten Forscher eine neue Theorie über die Verdauung, Ernährung, Blutbildung, Harn- und Gallenbereitung u. s. w. auf, welche jedenfalls endgültige Stationen des Forschungsganges bilden.

Im folgenden ist im Anschluss an die Resultate solcher Experimente, deren Kenntnis dem Verständnis für die normalen Vorgänge im Verdauungskanal die Wege bahnt, das wesentlichste der modernen Physiologie der Verdauung, Ernährung u. s. w. zusammengestellt.

# Erster Abschnitt.

## Die Versuchsergebnisse, deren Kenntnis dem Verständnis der normalen Vorgänge im Verdauungsapparat die Wege bahnt.

### Erstes Kapitel.

### Experimentelle Erläuterung über die Elektricitätserzeugung im Digestionskanal.

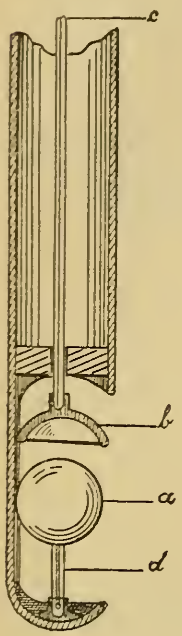
Seit Entdeckung der tierischen Elektricität durch Galvani (1790) sind die elektrischen Erscheinungen an den Muskeln und Nerven Gegenstand vielseitiger Untersuchung gewesen, und es blieb allein bis heute unentschieden, ob elektrische Kraft im Digestionsrohr durch die Lösung der aufgenommenen Salze und salzähnlichen Verbindungen entwickelt wird. In Nachstehendem soll diesbezügliche Aufklärung gegeben werden:

Die Lösung von Kochsalz ist, wie bekannt, ganz besonders geeignet, einen sehr ruhigen starken Strom zu erzeugen. Die Entstehung der Elektricität bei der Lösung von Salzen im Wasser hat zuerst Wüllner nachgewiesen und dabei gefunden, dass bei Lösung neutraler und basischer Salze die dichtere Lösung positiv ist, gegen das Lösungsmittel; bei sauren Salzen dagegen ist im allgemeinen die dichtere Lösung negativ gegen das Lösungsmittel. Die Stromstärke aber wächst in allen Fällen mit der grösseren Löslichkeit der Salze.

Auf Grund dieser Erfahrung untersuchten wir den Magen auf seine elektrische Spannung vor und nach reichlicher Aufnahme von Kochsalz. Bei dieser Unter-

suchung bedienten wir uns einer Elektroskopsonde, welche durch nebenstehende Fig. V versinnbildlicht ist.

Fig. V.




Die Handhabung dieser Elektroskopsonde ist sehr einfach; nämlich man setzt zuerst die isolierte Metallkugel *a* mit der Erde in Verbindung und zwar dadurch, dass man den Deckel *b* mit der Metallkugel *a* in Berührung bringt und den Kupferdraht *c* mit seinem freien Ende in die angefeuchtete Erde versenkt; wenn dies geschehen, führt man die Elektroskopsonde durch die Speiseröhre in den Magen ein.

Die Aufgabe dieses Apparates ist folgende:

Die positive Elektricität aus dem Digestionsrohr wird durch die Drahtleitung *c* zur Erde herabgeleitet, während die negative Elektricität sich an der Metallkugel *a* ansammelt.

Bei kurzer Versuchsdauer ist erforderlich, den Apparat vor seinem Gebrauch im Wasserbade von 32—35° C. zu erwärmen.

Nach dem Versuche wird der Kontakt durch Zurückziehen des Drahtes *c* aufgehoben, und man nimmt alsdann die Metallkugel mittelst des isolierenden Fusses *d* ab und bringt dieselbe mit einem Spiegelgalvanometer von Gauss und Weber in Berührung, um den Wert ihrer elektrischen Ladung zu bestimmen.

Kennt man den Wert der elektrischen Ladung eines hungernden Magens und kennt man ferner den des gefüllten Magens, so hat man in der Differenz beider Werte einen Ausdruck für die elektrische Kraft, welche sich aus jener Substanz im Magen gebildet hatte.

Die Resultate unserer diesbezüglichen Untersuchungen, welche sich auf ein tieferes Studium stützen, ergaben:

1. dass sich der höchste Wert der Elektricitätsspannung nach reichlicher Aufnahme von Salz und idiolektrischen Substanzen im Verdauungsapparate zeigt;

2. dass die Spannung der tierischen Elektricität eines hungernden Magens erheblich zunimmt, wenn der Magen durch Tiefatmen bewegt wird.

Es liegt auf der Hand, dass die anorganischen Nährsalze im hohen Masse die Bildung der tierischen Elektricität unterstützen. Schaltet man die Nährsalze aus, so geht der Körper, wie bekannt, zu Grunde. Hieraus folgt, dass die elektrische Kraft, welche durch Lösung der aufgenommenen Salze im Digestionsrohr erzeugt wird, jedenfalls für die Verdauung, resp. Erhaltung des tierischen Organismus notwendig ist.

Die vorbenannte Erscheinung, dass durch Tiefatmen ebenfalls im Digestionsrohr elektrische Kraft erzeugt wird, kann uns nicht allzu fremd erscheinen; denn wir wissen einmal, dass sich der Körper durch Tiefatmen rasch erwärmt, zweitens, dass die Wärme und Elektricität voneinander abhängen, und drittens, dass sie gegenseitig ineinander überführt werden können.

Die von uns in diesem Kapitel gestellte Frage dürfte hiermit ihre Erledigung gefunden haben; denn angeführte Versuchsergebnisse beweisen zur Genüge, dass elektrische Energie im Digestionsrohr vorhanden ist, sowie weiter, dass die Spannung derselben infolge der Tiefatmung und Nahrungsaufnahme erheblich steigt. Daraus ergiebt sich des weiteren, dass die Elektricitätserzeugung im Digestionskanal durch Lösung der aufgenommenen Nährsalze etc., sowie durch Reibung der Ingesta unter dem Einfluss der Atembewegung wesentlich unterstützt wird.

Man kann also die idioelektrischen Nährstoffe als Quelle der tierischen Elektricität ansehen.

Auf die Einzelheiten der Elektricitätserzeugung kommen wir an anderer Stelle zu sprechen.

## Zweites Kapitel.

# Über den Druckverlauf im Magen.

Der Wert des Magendruckes unterliegt fortwährenden Schwankungen, deren Bedeutung für die Verdauung und Ernährung unserer Erfahrung nach von grosser Wichtigkeit ist; daher wollen wir den Magendruck in seinen einzelnen Phasen und in den verschiedenen physiologischen Zuständen besprechen.

Die einfachste Methode, sich eine gründliche Kenntnis über den Druckverlauf im Magen zu verschaffen, ist die Anwendung von der Schlundröhre, welche zu diesem Zwecke einer Versuchsperson bis in den Magen eingeführt wird. Das Einführen geschieht, nachdem die vordere Sondenöffnung mit einer kleinen kollabierten Tierblase (Gallenblase) armiert und das andere Ende mit einer Mareyschen Kapsel versehen ist. Die Tierblase wird erst dann, wenn dieselbe im Magen angelangt ist, ein wenig aufgeblasen. Jeder auf die in der Tierblase befindliche Luft wirkende Druck überträgt sich durch das geschlossene Rohrsystem auf den Zeichenhebel der Mareyschen Kapsel und kann auf der rotierenden Trommel des Kymographion verzeichnet werden. Nachstehende Druckkurven, welche wir auf diese Art und Weise gewonnen hatten, drücken den natürlichen Druckverlauf des Magens in den verschiedenen physiologischen Zuständen aus.

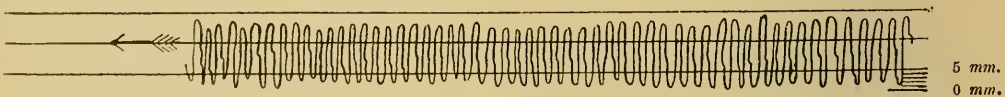



Fig. VI. Magendruckkurve eines Knaben in hungerndem Zustande entnommen.

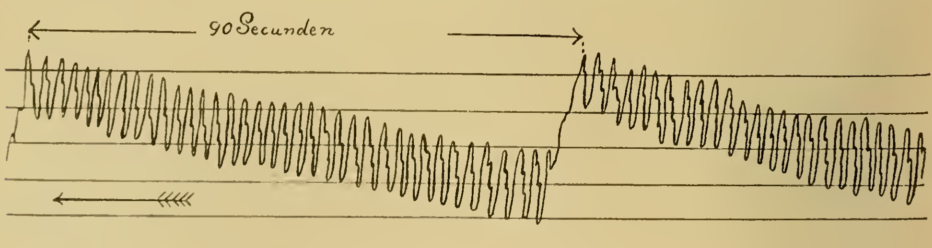



Fig. VII. Magendruckkurve eines Knaben nach der Nahrungsaufnahme entnommen.

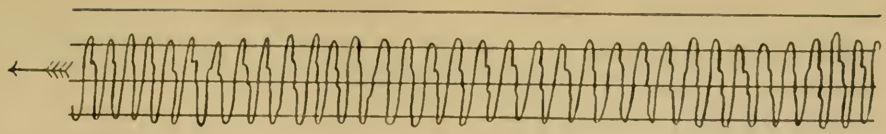


Fig. VIII. Magendruckkurve eines Erwachsenen in hungerndem Zustande entnommen.

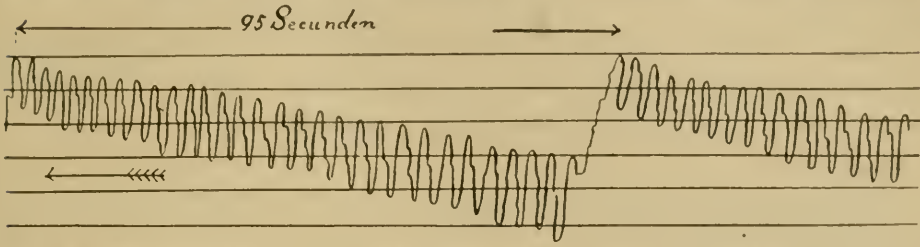



Fig IX. Magendruckkurve eines Erwachsenen nach der Nahrungsaufnahme entnommen.

Das Charakteristische hierbei ist:

a. dass der Druck des vollen Magens bei einem Knaben grösser als beim erwachsenen Menschen ist;

b. dass der Druck des vollen Magens in seinem Verlauf stets einen grösseren Wert als der des hungernden Magens erreicht;

c. dass der Magendruck neben den respiratorischen Druckschwankungen noch in grösseren Intervallen erheblich zu und abnimmt, wenn der Magen hinreichend gefüllt ist. Zur Bestätigung dieser Daten folgt hier die Begründung.

1. In dem von v. Pflungen*) beobachteten Falle (ein Knabe mit einer Magenfistel) lag die „respiratorische“ Druckschwankung im vollen Magen zwischen 4 und 15 mm Quecksilber (5,2-19,5 ctm. Wasserdruck) und die sekundäre Druckschwankungen, die in etwa eine Minute abliefen, schwankten eigentümlich zwischen 14—35 mm Quecksilber. Noch höher stiegen diese Druckwerte nach tieferer Einführung der zur Messung des Druckes hergestellten Steigröhre in den Magen. Die „sekundären“ Druckschwankungen bewegten sich hierbei zwischen 60—120 mm Quecksilber.

2. Schreiber fand im Magen sehr oft teils negativen, teils minimalen positiven Druck, der aber doch immerhin Werte bis zu 15 mm Quecksilber erreichte.**)

3. Uffelmann hat bei einem Fistelknaben, dem er eine Art Steigröhre bei gefülltem Magen durch die Fistel luftdicht einführte, bemerkt, dass das Niveau der Flüssigkeit in der Röhre in wechselnder Weise von 2—8,5 ctm. über der Fistelöffnung stand und neben den nur wenige Millimeter betragenden respiratorischen

*) von Pflungen und Ullmann, Über die Bewegung des Antrum pylori beim Menschen. Centralblatt für Physiologie 1887. No. 13.

**) Archiv f. exper. Pathol. und Pharmak. Bd. XXIV. pag. 365.

Schwankungen noch grössere Hebungen und Senkungen, die in etwa eine Minute abliefen, zeigte. Daneben wurde die in die Röhre überhaupt aufgestiegene Flüssigkeit immer weniger, d. h. ihr Spiegel sank allmählich *).

Aus dem Gesagten geht hervor:

1. dass der Wert des Magendruckes während jeder Zwerchfellhebung um einige Millimeter sinkt, bei jeder Zwerchfellabflachung um gleichviel steigt;

2. dass der Magendruck neben den respiratorischen Druckschwankungen noch in grösseren Intervallen erheblich zu- und abnimmt. An anderer Stelle werden wir die Ursache dieser gesetzmässigen Erscheinung erklären.

---

*) Uffelmann, Beobachtungen und Untersuchungen an einem gastrotomirten Kranken. (Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. XX, p. 545.).

## Drittes Kapitel.

# Die Ursache der Fermentwirkung.

Jede tiefere Einsicht in das Wesen der Verdauung ist unumgänglich an eine möglichst klare und präcise Kenntnis von der Ursache der Fermentwirkung geknüpft.

Das Wort Ferment wurde schon von den Alchymisten des 14. und 15. Jahrhunderts in dem Sinne einer Kraft gebraucht, welche, ohne selbst abgeschwächt zu werden, grosse Effekte an andere Massen erzielen könnte.

Diese Definition, welche durch A. Meyer u. a. bekämpft wurde, erregt heute insofern unsere Aufmerksamkeit, als vereinzelte Forscher in der That in dem elektrischen Strom eine Kraft erkannten, die in der Gärungsindustrie eine grosse Rolle spielt. Wir erwähnen zunächst die Reinigung und Entfuselung des Alkohols durch elektrische Ströme. Man hat dabei sowohl mit gleichgerichteten, als auch mit Wechselströmen überraschende Erfolge erzielt. Bei der Kunsthefenerzeugung werden z. B. die Maische rasch auf 15—18° C. gekühlt und mittelst eines elektrischen Stromes behandelt. Durch die Elektricität wird die Hefe ausserordentlich in ihrer Entwickelung gefördert.

So ist z. B. ein Elektrisieren des Weines geeignet, junge Weine rasch auszubilden und haltbar zu machen. Dergleichen in hohem Grade interessante Beispiele, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, finden sich zahlreich in der Litteratur vor.

Die moderne Forschung brachte also den Beweis dafür, dass die elektrische Kraft fermentative Prozesse vermitteln kann.

Wenden wir uns zur Betrachtung der Fermentwirkung, so müssen wir nun auf das Gebiet der Elektrochemie übertreten.

Die Elektricität wird bekanntlich durch Reibung, durch Schwankungen der Tagestemperatur etc. erregt. Wenn die Erregung in einem luftdicht verschlossenen Glascylinder, welcher z. B. mit syrupartiger Lösung gefüllt ist, zu Stande kommt, so bringt dieselbe so viel kleine Ströme hervor, als es Massenteilchen gebe. Diese elektrischen Ströme haben nun das Bestreben, das Wasser in Wasserstoff und Sauer-

stoff zu zerlegen. Durch den nascierenden Wasserstoff wird Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd überführt, wenn der auf die Flüssigkeitsoberfläche einwirkende Druck über den atmosphärischen nicht erheblich steigt.

Die Wirkung der elektrischen Kraft, die ohne besonderes Zuthun in einer Zuckerlösung erregt wird, lässt sich durch folgenden Versuch veranschaulichen:

Einen etwa 100 $cm^3$ grossen Cylinder fülle man bis zum Rande mit einer konzentrierten, syrupartigen Zuckerlösung und verschliesse ihn luftdicht mit einer tierischen Membran. Wird er nun aufrecht in ein Wasser enthaltendes Gefäss gesenkt und der Wasserspiegel an der Gefässwand markiert, so bemerkt man:

1. dass die Membran in Form einer Kalotte sich nach und nach emporwölbt, die nach 5—9 Stunden eine Höhe von 2—3 cm. erlangt;

2. dass der Wasserspiegel im Verhältnis zu dieser Höhe steigt.

Offenbar beruht diese Erscheinung darauf, dass, wie oben erwähnt, unter dem Einfluss der Tagestemperaturschwankungen eine Elektricitätserregung in der Lösung stattfindet, wodurch so viel kleine Ströme hervorgebracht werden, als es Massenteilchen gebe, welche, wie jeder elektrische Strom, das Bestreben haben, das Wasser und die Zuckermoleküle in ihre Bestandteile zu zerlegen. Hierbei werden Gase gebildet, welche sich dort ansammeln, weil sie durch die tierische Membran nicht diffundieren können; sie spannen daher die letztere.

Da nun der im Jonenzustand befindliche Zucker durch das Porensystem der Membran diffundieren kann, und die Spannung in dem Glascylinder höher, als die in dem Wasser ausserhalb des letzteren ist, so müssen die Zucker-Jonen unter dem Einfluss dieser Druckdifferenz von den Orten höheren Druckes (Glascylinder) nach den Orten niederen Druckes (das Wasser ausserhalb des Cylinders) strömen. Man hat thatsächlich Zucker in dem Wasser ausserhalb des Glascylinders nachgewiesen.

Den an diesem allgemein bekannten Versuch zu beobachtenden Vorgang hat man Osmose, und die Kraft, mit welcher die Moleküle des gelösten Körpers gegen die Membran drücken, den osmotischen Druck genannt.

Indem die Wissenschaft auf dem Gebiete der Elektrochemie festen Fuss fasste, war es leicht vorauszusehen, dass die Forschung bald die bisherigen Grenzen des Wissens überschreiten wird; gewichtige Forschungsergebnisse liegen uns vor. Wohl in Rückblick auf die bekannte Thatsache, dass ein und dieselben Kräfte in den unorganischen und organischen Körper wirksam sind und ein Stoff ohne Kraft nicht existiere, kann uns dies nicht allzu sehr befremdend erscheinen, dass dem Ergebnis moderner Forschung nach der Materie „Kraftlinien“ zukommen, deren Länge und Spannung in bestimmten Verhältnis zu dem Siede- oder Schmelzpunkt der verschiedenen Körper steht und deren Verlauf Analogie mit dem der „Kraftlinien“ eines

Magneten hat. Damit im Zusammenhange steht auch die vorläufige Anticipation, dass die Polarität der Körper von dem Spannungsgrade der Kraftlinien, welche laut obiger Bemerkung allen Körpern zukommen, insofern abhängt, als dass die Stoffe, deren Kraftlinien geringere Spannung haben, immer negativ elektrisch, andere deren Kraftlinien dagegen starke Spannung haben, positiv elektrisch zu einander sich verhalten. So z. B. Kupfer in Schwefelsäure wird negativ elektrisch mit Gold, Silber, Platin, Blei und positiv elektrisch mit Eisen und Zink. Wenn man z. B. Stoffe, deren Kraftlinien nicht gleiche Spannung besitzen, zusammen bringt, so müssen sich die Kraftlinien wirksam erweisen, nämlich die Kraftlinien haben das Bestreben, die Differenzen ihrer Spannung auszugleichen, was den Anstoss zur Erregung der Elektricität und Entstehung elektrischer Ströme giebt. Geschieht dies im Wasser, so dient letzteres als Leiter für die elektrischen Ströme.

Wenn wir einen elektrischen Strom durch einen Leiter führen, so verwandelt er sich sofort in andere Energieformen, sei es nun in Wärme, in mechanische Energie, in chemische Energie u. s. w. Wie die elektrische Leitung die elektrische Energie von Ort zu Ort trägt, so überträgt ein Transformator dieselbe von einer Spannungsstufe auf eine höhere oder niedere. Apparate, welche dieses veranschaulichen, hat man schon vor mehr als einem halben Jahrhundert gekannt und als „Induktionsapparate“ bezeichnet; aus ihnen ist der Transformator, der Sekundärgenerateur hervorgegangen.

Einige anorganische und organische Körper zeigen nun im hohen Grade die Fähigkeit, wie ein Transformator die elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere zu überführen; zu diesen gehören die integrierenden Bestandteile gewisser pflanzlicher und tierischer Säfte und Gewebe, resp. Organismen, die man Gärungserreger oder Fermente nennt, sowie Alkalien, Wasser etc.

Zur Erläuterung dieses Vorgangs dient folgendes:

Man bringe 200 Liter von einer in moderner Brauerei abgekühlten Maische, Bierwürze, in ein Gefäss und bestimme mit einem Galvanometer die Spannung ihrer elektrischen Energie und mit einer thermoelektrischen Säule ihren Temperaturgrad. Demnach wird derselben 1,2 Liter Hefe zugefügt und die Messung fortgesetzt.

Hierbei bemerkt man, dass die Spannung der Elektricität allmählich zunimmt und dementsprechend die Temperatur steigt. Die Gärung tritt erst dann, sobald die Spannung der Elektricität eine bestimmte Höhe erreicht hatte, in vollem Umfange ein.

Die Differenz der Elektricitätsspannung, welche durch die vor und nach dem Hefezusatz vorgenommenen Messungen ermittelt wurde, giebt den Wert der Transformationsfähigkeit der Hefe an. Die Hefenzelle ist also jedenfalls das Werkzeug,

durch welches die elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere in sehr kurzer Zeit bei 30° transformiert wird.

Auch die Alkalien besitzen die Fähigkeit, die elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere zu transformieren; wenn man nämlich das Zink anstatt in verdünnter Säure in Kali oder Natronlauge stellt, so wird die elektrische Kraft der Elemente erhöht (Grave, Joule, Poggendorf, Koosen u. a.).

Wenn man z. B. die Pole einer Dynamomaschine bei 100 Volt berührt, so verspürt man zumeist keine Wirkung; wenn aber die Berührung mit angefeuchteten Händen erfolgt, so tritt das Gefühl des Kribbelns oder Schmerzens auf. Man kann hieraus lernen, dass auch Wasser die elektrische Kraft von einer Spannungsstufe auf eine höhere transformieren kann.

Indessen gilt dies nicht nur für die Hefezellen, Alkalien und Wasser, sondern auch für alle Bakterien; ja sogar durch hohe Temperatur wird die elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere gebracht.

Die Elektricität ist ein ganz merkwürdiges Agens. Unterwirft man z. B. ungleichartige Körper einem sehr schwachen elektrischen Strom, so verläuft der Prozess im grossen und ganzen nach den Regeln der Affinität, während die elektrische Energie, nachdem sie von einer Spannungsstufe auf eine höhere oder niedere gebracht wird, einerlei, ob dies durch Microorganismen, Reduktionsmittel oder durch hohe Temperatur geschieht — eine Anzahl nicht nach den Regeln der Affinität erklärbarer chemischer Vorgänge zu stande bringt, welche Analogie mit Gärungen haben.

Hält man sich an die durch einwandsfreie Experimente sichergestellten Thatsachen, so kann man daraus ersehen, dass die elektrische Energie, wenn sie unter ganz bestimmten Bedingungen durch die Microorganismen etc. wie durch einen Transformator umgeformt wird, fermentative Prozesse vermittelt und infolge dessen ist dieselbe als die Ursache der Fermentwirkung anzusehen.

Viertes Kapitel.

# Verdauungsversuche, in welchen sich die elektrische Energie und periodische Druckschwankungen als Verdauungsfaktoren kennzeichnen.

Zur Ermittelung einzelner Verdauungsvorgänge bedient man sich der künstlichen Verdauung, die bis jetzt nur mit Hilfe von sog. Verdauungsflüssigkeiten im Wasserbade, das auf 40° C. erwärmt ist, ausgeführt wurde.

Da wir aber in Kapitel I—III gelernt haben, dass elektrische Energie und Druckschwankungen im Verdauungsapparat sich nachweisen lassen, so müssen wir sowohl elektrischen Strom als Druckschwankungen zu den künstlichen Verdauungsversuchen heranziehen, damit auch die künstlichen Verdauungen im Prinzip den natürlichen Verdauungsvorgängen gleichkommen. Der leichteren Übersicht wegen soll hier zunächst die Überführung der Stärke und Eiweisse in eine leicht lösliche Modifikation behandelt werden.

## 1. Umwandlung der Stärke durch ungleichartige Lösungsmittel.

Lässt man reines Wasser auf Haferschrot bei 40° C. einwirken, so bilden sich nach einigen Stunden Zucker, Dextrin, Milchsäure etc.

Lässt man Speichel auf Stärkekleister einwirken, so verflüssigt sich der Kleister nach kurzer Zeit vollständig: es hat sich zunächst lösliche Stärke (Amidulin) gebildet, welche sich mit Jod blau färbt. Weiterhin färbt sich die Flüssigkeit nur rot, eine Reaktion, die die Gegenwart von Dextrin, bezw. Erythrodextrin anzeigt. Alsdann verschwindet diese Farbenreaktion, wonach Alkohol eine Fällung von Dextrin, das heisst einen Niederschlag von Achroodextrin giebt. Auch findet sich jetzt in der Flüssigkeit Zucker, welcher sich nach Musculus aus dem Exythrodextrin gebildet hat, während das Achroodextrin unverändert bleibt.

Durch Malzferment wird ein Teil von der exponierten Stärke in Zucker überführt, während der andere Teil nur in Achroodextrin umgesetzt wird.

Frischer pankreatischer Saft wandelt bei Körpertemperatur in kleinster Menge Kleister rasch in Zucker oder vielmehr in Dextrin, Maltose und (wenig) Zucker um.

Wenn man Stärke mit den sogenannten Reduktionsmitteln, z. B. mit verdünnten Säuren kocht, so geht alle Stärke in Zucker über.

Das Charakteristische bei diesen Versuchen ist die Erreichung gleicher Produkte durch ungleichartige Lösungsmittel, eine Erscheinung, deren Erläuterung hier folgen möge.

Kommt Stärke mit Wasser oder mit einem der vorerwähnten Stoffe in Berührung, so wird dadurch bei Temperatursteigerung Elektricität erregt und die Spannung der Elektricität nimmt rasch zu; hier offenbart sich eine weitere Stütze dafür, dass, wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert wurde, die durch Berührung zweier Körper erzeugte elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere durch Temperatur, Wasser und Fermente (wie durch einen Transformator) transformiert wird.

Unterwirft man die Stärke dem elektrischen Strome, so entstehen Zwischenprodukte und Enddukte. Die Zwischenprodukte stellen die einzelnen Übergangsstufen dar, welche gewissermassen die Zwischenglieder zwischen Stärke und Zucker bilden.

Da nun der elektrische Strom Stärke modifiziert und da während der Modifikation der Stärke die Spannung der elektrischen Energie bis zu einem Maximum steigt, so steht dem Schlusse nichts entgegen, dass die elektrochemische Energie von bestimmtem Spannungsgrad als Ursache der Umwandlung der Stärke anzusehen sei, während das Wasser, die Fermentkörper und die Temperatur die Werkzeuge darstellen, durch welche die elektrochemische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere transformiert wird. Diese Schlussfolgerung lässt sich auch durch die weiter unten angeführten Versuche stützen.

### 2. Die Auflösung der Eiweisse durch ungleichartige Lösungsmittel.

Lässt man Wasser nach Zusatz von 1 % Kochsalz auf die Eiweisse einwirken, so entstehen zwei Globuline: das Propepton und Pepton.

Bringt man eine Flocke reinen Blutfibrins in eine 2 % Salzsäurelösung, so löst sich dieselbe in Peptone nach 24—48 Stunden auf. Dasselbe erreicht man durch andere Säuren, wie Milchsäure, Oxalsäure, Phosphorsäure, Essigsäure (Haidenhain).

Lässt man hochgespannten Wasserdampf auf Fibrin und Eiweiss einwirken, so gehen dieselben in Propeptone (Albumose) und Peptone über (Neumeister). Dasselbe erreicht man schon durch anhaltendes Kochen mit reinem Wasser.

Werden die Eiweisse im Wasserbade, das auf 40° C. erwärmt ist, unter stärkeren Druck versetzt, so lösen sich dieselben in Albumose und Peptone auf.

Kommen Eiweisse mit Pepsin und Salzsäure in Berührung, so entsteht eine lösliche Modifikation, welche „Peptone" genannt werden. Diese Albumin-Pepsinverdauung gleicht im grossen und ganzen der Albumin-Trypsinverdauung.

Man kann aus dem Gesagten ersehen, dass die Eiweisse durch ungleichartige Mittel in Peptone überführt werden. Diese merkwürdige Erscheinung findet ihre Erklärung, wenn man die neuesten Erfahrungen auf dem Gebiete der Elektrochemie in Erwähnung zieht und die bekannte Thatsache berücksichtigt, dass durch Berührung zweier Körper, in diesem Falle durch Berührung der Eiweisse mit dem Wasser oder mit einem der vorbenannten Fermente eine Erregung der Elektricität hervorgebracht wird, deren Spannung mit der Temperatur bis zu einem Maximum steigt. Die Grundbedingung für die Steigung der Spannung liegt offenbar in dem Umstande, dass, wie im vorhergehenden Abschnitt erklärt wurde, sowohl das Wasser als auch die Fermentkörper elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere überführen können.

Da nun die Eiweisse bei Gegenwart von Wasser etc. unter dem Einflusse des hochgespannten elektrischen Stromes bei Körpertemperatur sich auflösen, so muss die hochgespannte Elektricität, welche sich bei der Hydrolyse der Eiweisse nachweisen lässt, als Ursache der Eiweisszersetzung angesehen werden, während die sogenannten Lösungsmittel der Eiweisse, wie Pepsin, Trypsin etc., nur die Werkzeuge darstellen, durch welche die elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere wie durch einen Transformator übergeführt wird, was bei höherer Temperatur unter stärkerem Druck rasch vor sich geht.

Durch die Einwirkung der hochgespannten Elektricität auf Eiweisse entstehen Zwischenprodukte und Enddukte, diese sind gasförmiger Natur und jene, die man unter dem Namen der Albumosen zusammenfasst, stellen die einzelnen Übergangsstufen dar, welche gewissermassen die Zwischenglieder zwischen Eiweiss und Pepton bilden.

Auf Grund obiger Behauptung erklärt sich nun von selbst die von J. Munk zuerst beobachtete Erscheinung, dass Speichel mit Salzsäure versetzt, Fibrinflocken verdauen und Pepton bilden kann, dass sich umgekehrt aus der Magen- und Darmschleimhaut mit Glycerin ein diastatisches Ferment abspalten lasse; ähnliches berichtet auch Kühne.

### 3. Die elektrische Dissociation.

Um die elektrischen Vorgänge, welche man bei der Behandlung der Nahrungsmittel durch den elektrischen Strom wahrnimmt, leichter übersehen zu können, soll hier nur die elektrische Dissociation derselben betrachtet werden.

Wenn der elektrische Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgeht, so wird diese, wie bekannt, durch ihn zersetzt. Während die Flüssigkeit sich zersetzt, leitet sie den elektrischen Strom. Wir wissen, dass Wasser beim Durchgang des elektrischen Stromes in seine elementaren Bestandteile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegt wird, von denen sich der Sauerstoff an derjenigen Stelle ansammelt, an der der elektrische Strom in das Wasser eintritt, an der Anode, und der Wasserstoff an derjenigen Stelle, wo der Strom austritt, an der Kathode; die Bestandteile, in welche eine Flüssigkeit durch den elektrischen Strom zerlegt wird, nennt man bekanntlich die „Jonen.“

Gerade so gut wie reines Wasser durch den elektrischen Strom zersetzt wird, geschieht dies auch mit jedem Salz, das im Wasser gelöst ist; geht also der elektrische Strom durch eine Kochsalzlösung, so wird das Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt und ebenso auch das Kochsalz in seine Elementarbestandteile in Chlor und Natrium, welche sich auch an den Stellen ansammeln, an denen der Strom in die Kochsalzlösung eintritt und aus ihr austritt.

Die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Kohlenhydrate bezw. Zuckersäfte ist hauptsächlich in der Zuckerindustrie vielfach erprobt worden. Die Stärke wird im Wasserbade bei 40° C. unter dem Einflusse des schwächsten elektrischen Stromes verzuckert; während die leicht löslichen Kohlenhydrate durch Faradisierung in verdünnter Schwefelsäure oder im Gemisch von Schwefelsäure, Essigsäure und Wasser zersetzt und zum Teil in den Jonenzustand überführt werden.

Leitet man den elektrischen Strom durch eine losgetrennte Darmschlinge, welche Fett, Baumwolle und Wasser enthält und im Wasserbade von 40° C. fixiert ist, so wird dort das Fett durch den elektrischen Strom in seine elementaren Bestandteile nach und nach zerlegt, von denen ein Teil aus dem Darmlumen in das Wasserbad übertritt, wenn das Darmlumen durch einen Mechanismus periodisch verengert und erweitert wird.

Wird Hundeserum in einem Becherglase mit einer Scheidewand aus Glas elektrolysiert, so entsteht beim Durchgange eines relativ schwachen Stromes, (6 Grenet’schen Elementen) schon nach kurzer Zeit am negativen Pole eine fortschreitende Trübung der Flüssigkeit, wobei letztere nach und nach deutlicher sauer reagiert. An beiden Polen zeigt sich die Entwickelung von Gasbläschen und die Bildung von Eiweissgerinnsel. Bei andauernder Elektrolyse lösen sich die vorhandenen Goagula wiederum auf, indem ein Teil derselben eine grössere Tendenz als der andere zeigt, in den Jonenzustand überzugehen. Betreffs der Elektrolyse des Albumin und Globulin sei auf die Smirnow’s Versuche verwiesen (Berliner klinische Wochenschrift 1894. Nr. 30. S. 683.).

Man kann die elektrische Dissociation mit einer Verdampfung vergleichen, weil sie mit der Änderung des Aggregatzustandes einhergeht.

Da nun die Bestandteile, in die das Wasser zerlegt wird, und diejenigen, in die das gelöste Eiweiss etc. zerfällt, unter dem Drucke ihres eigenen Dampfes häufig ihrerseits chemische Prozesse mit einander eingehen, so sind die elektrischen Dissociationsvorgänge stets von sekundären Erscheinungen begleitet, welche man Elektrosynthesen nennt. Wir gehen nun zur Betrachtung der Elektrosynthesen über.

## 4. Die Elektrosynthese.

Ein mächtiges Mittel zur Bildung neuer Verbindungen bietet uns der elektrische Strom. Wird nämlich elektrische Energie durch ein Gemenge verschiedener Körper geschickt, so verbinden sich bekanntlich die aus ihren früheren Verbindungen frei gewordene Elemente (Jonen) unter dem Einflusse ihrer Polarität und Affinität, so dass dadurch neue Verbindungen entstehen. Diese Vorgänge nennt man die Elektrosynthese.

An dieser Stelle mag auf die Versuche, in welchen die Elektrosynthesen bei direkter Vereinigung der während der Elektrolyse nascierenden Jonen zu Tage treten, hingewiesen werden.

Wird z. B. ein geheiztes Eudiometer bis zur unteren Marke mit reinem Knallgas gefüllt, und alsdann mit elektrischer Funkenentladung in gewöhnlicher Weise beschickt, so bildet sich aus dem Knallgas Wasserdampf.

Wird angesäuertes Wasser in kleine Glasröhren, welche mit Platindrähtchen zur Zuleitung des elektrischen Stromes versehen sind, eingeschmolzen, so erfolgt bei Durchleitung des elektrischen Stromes durch das Wasser zunächst eine Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff, dann erfolgt unter Feuererscheinung und heftiger Explosion eine Wiedervereinigung der beiden Gase zu Wasser. (H. N. Warren).

Führt man z. B. den Elektroden Wasserstoff und Chlor zu, so bilden sich Chlorjonen, Wasserstoffjonen und ferner Verbindungsmoleküle von ungespaltenem HCL. Wird nun Kochsalz dem galvanischen Strom unterworfen, so gelangt man auf galvanischem Wege aus Kochsalz direkt zu Salzsäure und Chlor (Schmid).

Wird ein elektrischer Strom durch ein Alkalibad, das aus einem Halogensalz eines Alkalimetalles besteht, geleitet, so tritt während der Elektrolyse das Halogen (z. B. Chlor) teilweise an die Kohlenanode, von wo es entweicht, und teilweise an die Metallanode, von welcher es unter Bildung von Chlorid aufgenommen wird, um sich alsdann in dem schmelzflüssigen Alkalibad zu verteilen. Durch die gleichzeitig auf letztere Mischung einwirkende Elektrolyse wird zu derselben Zeit am negativen Pol Alkali und Schwermetall frei; das letztere kommt mit dem ersteren in status

nascendi zusammen und vereinigt sich dabei mit diesem trotz der geringen gegenseitigen Affinität vollständig. (L. P. Hubin.)

Lässt man den elektrischen Strom eine Zeit lang auf eine mit verdünnter Schwefelsäure versetzte alkoholische Lösung von Benzol einwirken, so erhält man einen krystallisierten Körper, dem Renard die Formel $C_6 H_6 (OH)^2$ zuschrieb und den Namen „Isobenzolglycol" gab.

Unterwirft man Methyl- und Äthylmalonsäureäther der Elektrolyse, so erhält man Dimethyl- und Diäthyläthantetracarbonsäure (G. B. Werner).

Wird der elektrische Strom durch Zuckersäfte in besonderer Weise durchgeleitet, so erhält man am negativen Pol basische Produkte, am positiven hingegen Zuckersäuren und organische Bestandteile; letztere bilden eine Masse von eiweissartigem Aussehen.

Wird das Glycerin in angesäuerter Lösung dem Einflusse eines elektrischen Stromes längere Zeit ausgesetzt, so erhält man als Produkt: a) Ameisensäure, b) Essigsäure, c) Oxalsäure, d) Glycerinsäure und e) Trioxymethylen. (Renard Ann. chem. S. 17. 303).

Die erste Synthese auf organischem Gebiete war bekanntlich die von Wöhler entdeckte künstliche Herstellung des Harnstoffes. Es war dies gleichzeitig eine Elektrosynthese, da sie bei Anwendung elektrischer Energie aus den ursprünglichen Elementen hervorging, indem man Kohlenstoff und Stickstoff vermittelst des elektrischen Funkens zu Cyan vereinigte; das an Kalium gebundene Cyan geht beim Schmelzen mit Reduktionsmitteln in Cyansäure über, und durch Erhitzen von cyansaurem Ammoniak entsteht Harnstoff.

Es würde zu weit führen, noch mehr Beispiele dieser Art Synthesen in den Kreis unserer Betrachtung zu ziehen.

Jedenfalls ist aus den vorerwähnten Daten zu ersehen, dass die Wirkung der Elektricität eine Trennung oder Verbindung der Elemente zur Folge haben kann.

## 5. Künstliche Verdauung im Tiermagen bei Anwendung elektrischer Energie und periodischen Druckschwankungen.

Von der Überlegung ausgehend, dass die tierische Elektricität und die respiratorischen Magendruckschwankungen bei der natürlichen Verdauung sich wirksam erweisen müssen, haben wir einen Apparat konstruieren lassen, um ihre Einwirkung auf die Nahrungsmittel mit Hilfe des Apparates zu studieren.

Bevor wir nun zur Handhabung des Apparates übergehen, müssen wir kurz den Verdauungsapparat in seinen einzelnen Teilen besprechen.

Der vollständige Apparat besteht aus einer Porzellanretorte (Destillierblase),

welche auf einem eisernen Gestell ruht, dem aufschraubbaren Helm, Kühlapparat, einem Tiermagen, einem Kolben, durch welchen das Lumen des Tiermagens periodisch verengert wird, einem Thermometer und einer künstlichen Speiseröhre, die mit einem Verschluss versehen ist.

Die Porzellanretorte (Fig. X.) a hat am Halse drei Öffnungen, von denen die eine durch die Speiseröhre e, die zweite durch einen Kork, durch den die Leitungsdrähte hindurchgehen und die dritte durch den Thermometer luftdicht geschlossen wird. Der Thermometer ist an der vorderen Seite, welche in der Fig. X. abgetragen ist, angeordnet.

Der Helm b hat in seiner Decke eine Öffnung, durch welche die Kolbenstange g hindurchgeht.

Der Tiermagen d liegt auf Baumwolle innerhalb der Porzellanretorte; die Speiseröhre e ist durch Ligatur im Ostium oesophageum befestigt. Der Draht f, welcher den elektrischen Strom zu dem Magen führt und die positive Elektrode darstellt, ist von der vorerwähnten Ligatur fixiert, während die negative Elektrode durch den Pförtner hindurch bis in den Tiermagen hineingeht. Der Pförtner ist durch Ligatur geschlossen.

Der Kolben g ist aus Porzellan und wird mittels eines Mechanismus etwa 18 Mal in einer Minute so weit gehoben und niedergedrückt, dass dadurch das Lumen des Tiermagens periodisch verkleinert wird.

Zur Ausführung einer künstlichen Verdauung bringt man in den Magen eine Portion gemischter Nahrung, welche gut zerkleinert oder durchgekaut ist und beschickt den Magen mit reinem Wasser. Der grosse Raum, den das Wasser im Magen einnimmt, kann zum grössten Teil anstatt des Wassers mit Baumwolle ausgefüllt werden. Hierauf füllt man die Porzellanretorte $^2/_3$ mit Wasser, dichtet den Helm etc. und beginnt zu heizen.

Das Erwärmen geschieht durch einen Gasbrenner nach R. Koch mit automatischer Gas-Absperrung. Sobald sich die Temperatur von $40^0$ C in der Retorte eingestellt hat, lässt man einen mässig starken elektrischen Strom auf die Nahrungsmittel eine Zeit lang (4—10 Stunden) einwirken.

Aus umstehender Zeichnung (Fig. X) ist die Konstruktion eines solchen Verdauungsapparates ersichtlich.

Betreffs tieferer Studien über die Verdauung führt man durch die Speiseröhre Tüllsäckchen mit Eiweisswürfeln, Knochenwürfeln etc. etwa von der Grösse einer grossen Erbse in den Magen ein und zieht dieselben nach verschiedener Zeitdauer ihres Verweilens in dem Magen wieder heraus. Die Würfel kommen desto mehr angenagt heraus, je länger sie im Magen gewesen waren, so dass die einzelnen

Würfel derselben Gattung nebeneinander gestellt wie die Orgelpfeifen immer kleiner erscheinen und ihre oberen Kanten eine allmählich absteigende ideale Linie darstellen.

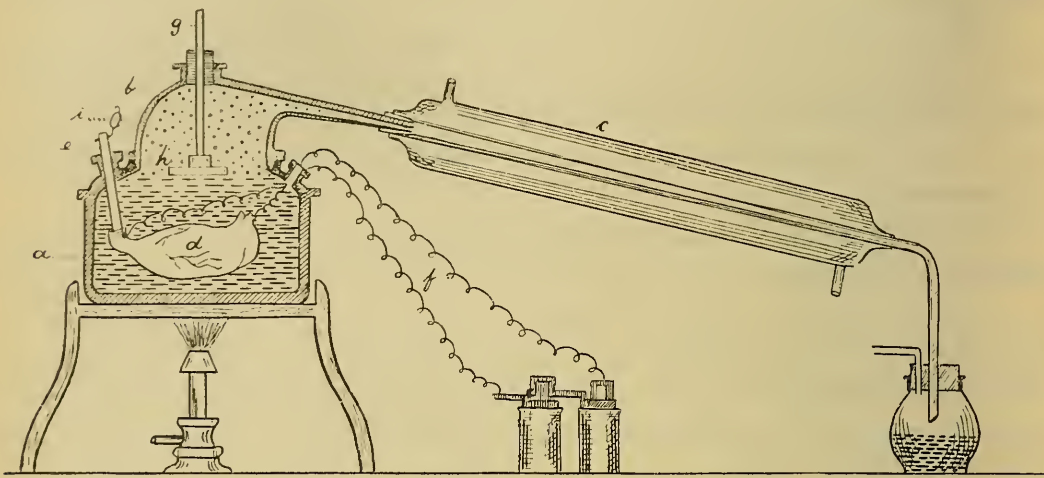


Fig. X. Elektrischer Verdauungsapparat nach Reimann.

Lässt man den elektrischen Strom nicht durch den Mageninhalt hindurchströmen, so zeigt sich, dass die alsdann entnommenen Eiweisswürfel mehr oder weniger gelockert aber nicht wie zuvor angenagt sind. Die Zernagung der Eiweisswürfel etc. ist also zweifellos auf die elektrische Aktion zurückzuführen.

Da bekanntlich die Atome, die durch den elektrischen Strom aus ihren früheren Verbindungen frei gemacht wurden, durch denselben Strom in andere Combinationen überführt werden können, so gehen bei der elektrolytischen Aktion Elektro-Dissociationen und Elektrosynthesen nebeneinander einher.

Öffnet man den Verschluss i (Fig. X) während der Verdauung bei Anwendung des elektrischen Stromes, so strömen Dämpfe aus dem Magen durch die Speiseröhre stossweise heraus, die sich durch einen eigentümlichen, penetranten Geruch auszeichnen. Diese Dämpfe gelangen nun bei geschlossenem Magenmund aus dem Magen in die Porzellanretorte, indem sie durch die porösen Magenwände hindurchdiffundieren; von da steigen sie, wie bei der Destillation in den Helm auf, um in den Kühlapparat zu gelangen.

Die Dämpfe sind gesättigt mit Jonen der Fette, Eiweisse, der Kohlenhydrate, der Nährsalze etc. Nachdem sie sich in dem Kühlapparat zu tropfbarer Flüssigkeit verdichtet haben, finden sich nämlich in dem Destillat sowohl Bestandteile der Nahrungsmittel als auch Bestandteile neuer aromatischer Verbindungen vor, welche im Magen nur durch die elektrolitische Aktion entstanden sein konnten.

Eine Reihe von merkwürdigen Erscheinungen zeigte sich alsdann in dem Destillat, nämlich die Endprodukte der Verdauung schichten sich in der Vorlage, um nach und nach netzartige Gebilde, lymphdrüsenartige Körper und eigentümliche Formelemente zu bilden.

Nicht unerwähnt wollen wir hier lassen, dass erbrochene Speisen, welche ca. 10 Stunden im Magen eines Individuums waren, sich von denjenigen Speisen fast gar nicht unterscheiden, welche im obigen Verdauungsapparat ca. 10 Stunden hindurch der elektrolytischen Aktion ausgesetzt waren. Man kann daher mit vollem Rechte den besprochenen Vorgang der künstlichen Verdauung als Vorbild der natürlichen Verdauung ansehen.

## 6. Untersuchungen über die Diffusion elektrolytischer Gase durch poröse Körper, insbesondere durch tierische Membranen.

Der Durchtritt einer Lösung durch tierische Membran wird insbesondere durch den elektrischen Strom unterstützt. Diese osmotische Wirkung des Stromes wird in der Medizin angewendet und zwar um flüssige Medikamente durch die Haut in den Körper einzuführen.

Man bedient sich zu diesem Zwecke seit längerer Zeit der Elektroden, welche in Hohlgläsern die einzuführende Flüssigkeit enthalten. Das Hohlglas ist mit einer tierischen Membran überspannt und diese Membran legt man dem Patienten auf die Haut, so dass der Strom durch die Flüssigkeit, Membran und Haut in den Körper geht, um gleichzeitig die Flüssigkeit aus dem Hohlglase durch die poröse Membran und die Haut in den Körper überzuführen.

Allerdings setzt dieser osmotische Vorgang eine Zersetzung der Flüssigkeit durch den elektrischen Strom voraus, so dass die Diffusion nicht nur ein mechanischer, sondern auch ein elektrochemischer Vorgang ist. Hierfür spricht auch die Thatsache, dass die Flüssigkeitsmenge, welche im vorerwähnten Versuch aus dem Hohlglase verschwindet, der Stromstärke proportional ist.

Über die Arbeiten, welche sich mit der Frage beschäftigen, ob die normale Haut im Wasser gelöste Arzneimittel in den Körper eindringen und zur Resorption gelangen lässt, schreibt Prof. Lewin (in der Deutschen Mediz. Ztg. Nr. 9) wie folgt:

> Eine unglücklichere Organisation des Menschen liesse sich kaum ausdenken, als wenn seine Haut für in Wasser gelöste Stoffe durchgängig wäre, d. h. die letzteren bei kürzerer oder längerer Berührung bis zu den resorbierenden Gefässen vorzudringen vermöchten. Es müssen besondere Zustände der Haut vorhanden sein oder besondere Stoffe oder besondere Methoden zur Anwendung kommen, um das letztere zu veranlassen.

Diese besonderen Zustände werden, wie Lewin früher mit Hilfe von Bleisalz-

lösungen ermittelt hat, durch Vorbehandlung mit einem starken Borstenpinsel (Reiben) oder durch Anwendung ätzender Stoffe herbeigeführt. Es ist klar, dass durch Reiben Elektricität erzeugt wird, welche die Arzneimittel in den Jonenzustand überführt, um durch die tierische Membran zu diffundieren.

Diese experimentell sicher gestellte Erfahrung ist von grosser Bedeutung für das Verständnis der Thatsachen, dass im Digestionsrohre die Flüssigkeiten durch die tierische Elektricität nach und nach zersetzt werden, um durch die Magen- und Darmwände diffundieren zu können. Näheres siehe in folgendem Abschnitt.

# Zweiter Abschnitt.

## Die Physiologie der Verdauung.

Die Verdauung in der Mundhöhle, im Magen- und Darmkanal setzt sich aus einem elektrochemischen und mechanischen Akte zusammen, weshalb man in diesem Abschnitte von der Elektrochemie und der Mechanik der Verdauung sprechen wird.

---

### Erstes Kapitel.

### Die Mundverdauung.

Die Vorstellungen über die Verdauung in der Mundhöhle waren bisher verhältnismässig oberflächliche. Durch das Ptyalin sollte die Stärke in eine leicht lösliche Modifikation: lösliches Amylum, Erythrodextrin, Achroodextrin, Maltose und Glycose überführt werden.

Diese Anschauung, welcher der Umstand eine untergeordnete Bedeutung verleiht, dass man von rechtswegen die Umwandlung der Stärke dem Ptyalin nicht zuschreiben, sondern dieselbe vielmehr auf die amilotische Wirkung der Elektricität zurückführen soll (s. S. 45), ist bei der Besprechung der Mundverdauung aus naheliegenden Gründen zu vernachlässigen.

Den Bemühungen der fortschreitenden Forschung auf dem Gebiete der Physiologie und Elektrochemie verdanken wir jetzt eine Reihe neuer Thatsachen, die zu einer grundsätzlich anderen Auffassung über die Verdauung im Munde geführt haben.

Bei der Mundverdauung kommen elektrochemische und mechanische Vorgänge in Betracht. Man behandelt diese beiden Verdauungsvorgänge gesondert als Elektrochemie und Mechanik der Mundverdauung.

## 1. Elektrochemie der Mundverdauung.

Die Elektrochemie der Mundverdauung basiert auf der Thatsache, dass physiologische Elektricität, unter deren Einfluss Stoffe sich verändern, in der Mundhöhle während des Kauens erzeugt wird. Mit Hilfe eines hierzu geeigneten Elektroskops gelang es, die beim Kauen entstandene elektrische Energie nachzuweisen; sie zeigt im hohen Grade das Bestreben, sich an die Zähne, insbesondere an die Schneide- und Eckzähne anzuhäufen.

Da nun überall in der Natur durch Zerren, Reiben etc. elektrische Energie erzeugt wird, so würde die Entdeckung der Elektricitätserregung beim Kauen jedenfalls niemanden überraschen.

Aus den Untersuchungen über die Wirkung der elektrischen Energie beim Kauen haben sich nachstehende vier Punkte ergeben:

1. Die durch Kauen im Munde erzeugte Elektricität übt einen befördernden Einfluss auf die Sekretion des Mundsaftes aus. Als Beleg für diese Auffassung dient folgendes: Mit Hilfe der elektrischen Reizung kann man die Speicheldrüsen stundenlang, ja einen ganzen Tag secernieren lassen, wenn man sich einer geringen Stromstärke bedient und kleine Pausen während des Versuches macht.

2. Bei jeder Berührung der Zähne mit der Zunge wird ein elektrischer Strom thätig, indem die elektrischen Ladungen der Zähne positiv und die der Zunge negativ sich zueinander verhalten; ebenso entsteht der elektrische Strom, wenn die Zunge und Zähne durch poröse Substanzen, Speise, getrennt sind. Diese Erklärung lässt sich noch dadurch stützen, dass ältere Individuen, die an Gelenkrheumatismus leiden und gute Schneidezähne besitzen, nicht selten vor dem Einschlafen in der Mundhöhle elektrische Schläge wahrnehmen, wenn der Abstand der Zähne und Zungenspitze der Dichte der an den Zähnen angehäuften Elektricität proportional ist.

3. Die Mundflüssigkeit wird durch den elektrischen Strom allmählich zersetzt und in diesem Zustande dringt sie in die Poren der im Kauapparat vorhandenen festen Speisen ein und dadurch wird die Einspeichelung sehr rasch bewerkstelligt.

4. Die Nahrungsmittel werden in der Mundhöhle mehr oder weniger durch die elektrochemische Kraft verändert. Nicht wesentlich werden die Eiweisse, Fette, Kohlenhydrate in dem Kauapparate durch den elektrischen Strom verändert. Die Temperatur ist gewöhnlich bei Zerkleinerung kalter Speisen zu niedrig, das Verweilen der Speisen im Munde zu kurz.

Das Charakteristische bei der Bearbeitung der Speisen im Munde ist der Umstand, dass die zu einem Bissen geformten Speisen elektrische Ladungen um so mehr aufnehmen, je besser sie eingespeichelt worden sind.

## 2. Mechanik der Mundverdauung.

Die Speisen werden, soweit sie nicht vorher zerlegt und zerkleinert sind, durch die Schneide- und Eckzähne abgebissen, resp. zerstückelt, durch die Backzähne, denen die Zunge die auf ihrem Rücken befindlichen Speiseteile zuschiebt, zerrieben und in kleinere Partikel zerrissen. Hierdurch wird elektrische Energie erzeugt, welche, wie oben erklärt, die Zersetzung der Mundflüssigkeit und die Einspeichelung der Speisen bewerkstelligt.

Aus den so zerkleinerten und eingespeichelten Speisen wird auf dem ausgehöhlten Zungenrücken durch Vor- und Zurückschieben der Zunge ein rundlicher Ballen, der Bissen, geformt. Die Bewegungen der Kaumuskulatur, welche bilateral symmetrisch während des Kauens vor sich gehen, werden von einem in der Med. oblongata gelegenen Zentrum angeregt (Schröder). Über die Einzelheiten der Erregung werden wir auf anderer Stelle sprechen.

## Zweites Kapitel.

# Der Schluckakt.

Die Vorstellungen über die Beförderung des im Munde präparierten Bissens, bezw. der aufgenommenen Flüssigkeit in den Magen waren bisher verhältnismässig komplizierte. Durch die Aktion der beteiligten Muskulatur sollte der Bissen in den Nasenraum geschoben, der Eingang durch die Choanen zur Nasenhöhle, durch den Kehlkopf zur Luftröhre und zu dem vorderen Teile der Mundhöhle verschlossen und die zu verschluckende Masse durch die peristaltisch ablaufende Kontraktion der Pharynx und Oesophagusmuskulatur in den Magen hinuntergeschoben werden.

In jüngster Zeit haben vereinzelte Forscher (Kronecker, Falk und Metzner) durch einwandsfreie Experimente nachgewiesen, dass die Kontraktionen der Pharynx und Oesophagusmuskulatur während zwei oder mehrerer Schlucke ganz aufgehoben sind und erst nach dem letzten Schluck eintreten, so als ob nur dieser eine Schluck gethan wäre. Hierdurch ist jedenfalls bewiesen, dass die alten Anschauungen über den Schluckakt der Wirklichkeit nicht ganz entsprechen.

Indessen wurden auf dem Gebiete der Physiologie Thatsachen erforscht, welche zu einer wesentlich anderen Auffassung über den Schluckakt geführt haben, zu diesen gehören:

1. die Zersetzung der Mundflüssigkeit durch den elektrischen Strom, welcher, wie auf Seite 56 erklärt wurde, in der Mundhöhle beim Kauen entsteht;

2. die Gasbildung in der Mundhöhle, welche bei der Elektrolyse der Mundflüssigkeit, bezw. beim Kauen rasch vor sich geht;

3. die respiratorische Schliessung der Speiseröhre durch die Lungenausdehnung; die Lunge übt nämlich bei ihrer Ausdehnung auf jeden Quadratmillimeter Fläche einen Druck von etwa 20—30 cm Wasserhöhe aus. Dieser Druck lässt sich ermitteln, wenn man die vordere Sondenöffnung mit einem kleinen aufblähbaren Gummiballon armiert und nach Einführung desselben an die gewollte Stelle im Oesophagus das freie Ende der Sonde mit einer Mareyschen Kapsel versieht. Diesem Drucke kann

die Oesophagusmuskulatur keinen Widerstand leisten; folglich bleibt die Speiseröhre während der Inspiration geschlossen und während der Exspiration offen. Thatsächlich ist jede Schluckbewegung von einem Atemzug begleitet (Steiner);

4. die Steigerung des Mundhöhlendruckes beim Kauen. In der geschlossenen Mundhöhle sammeln sich nämlich die Gase, welche bei der Zersetzung des Speichels durch den elektrischen Strom entstehen, an, wobei der Druck in der Mundhöhle über den minimalen Magendruck (s. S. 39) steigt, so dass bei geöffneter Speiseröhre zwischen der Mundhöhle und dem Magen eine momentane Druckdifferenz entsteht, deren Wert im Beginn der Nahrungsaufnahme vergrössert ist.

Überblickt man diese vier Punkte, so macht sich allerdings die Druckdifferenz, welche aus vorerwähnten Gründen zwischen der Mundhöhle und dem Magen entsteht, als die Ursache der normalen Schluckbewegung geltend; denn der im Munde präparierte Bissen, bezw. die aufgenommenen Flüssigkeiten geraten unter dem Einflusse dieser Druckdifferenz in Bewegung, um von den Punkten höheren Druckes (der Mundhöhle) nach den Punkten niederen Druckes (dem Magen) vermittelst der Speiseröhre zu gelangen.

Der Magen übt bekanntlich während der Exspiration, d. h. bei offener Speiseröhre eine Saugwirkung aus, deren Wert sehr verschieden sein kann. Der hungernde gesunde Magen saugt am besten, denn im hungernden Magen stellt sich, wie die auf Seite 39 angeführten Messungen lehren, während der Exspiration ein negativer Druck ein, so dass die Exspirationsluft ohne besonderes Zuthun mit Beginn der Exspiration — so lange die Speiseröhre nicht geschlossen — in den hungernden Magen eindringen kann; ebenso sinkt der Druck im dürstenden Magen.

Man pflegt beim Trinken, nachdem man die verengte Mundspalte an den Rand des Gefässes und zugleich an den Spiegel der darin enthaltenen Flüssigkeit gebracht hat, einige Sekunden hindurch die Lunge in der Exspirationsstellung zu halten, damit die Speiseröhre während des Trinkens offen bleibt. Durch die Speiseröhre fliesst nun während der Exspirationsstellung der Lunge die Flüssigkeit aus dem Gefässe in den unter vermindertem Drucke stehenden Magen hinein.

An der Beförderung des im Munde präparierten Bissen in den bereits gefüllten Magen hat die kombinierte Wirkung der Zungengrundmuskulatur, vornämlich Mylohyoidei und Hypoglossi einen Anteil, indem die Schluckmasse durch die gegen den harten Gaumen angedrückte Zunge, wie durch einen Spritzenstempel unter hohen Druck gestellt wird, dessen Wert den des minimalen Magendruckes übertrifft. Durch diese Druckdifferenz wird die Schluckmasse dem gefüllten Magen zugeführt.

Nicht unerwähnt wollen wir hier lassen, dass bei überfülltem Magen eine Druckdifferenz im umgekehrten Sinne eintritt, die das Erbrechen zur Folge hat.

---

## Drittes Kapitel.

# Die Magenverdauung.

Unsere Vorstellungen über die Magenverdauung waren bisher nicht ganz richtige. Durch den Magensaft sollten die Eiweisse, sowohl wenn sie gelöst, als auch wenn sie in geronnenem Zustande in den Magen gelangen, in eine andere Modifikation, die von Lehmann sogenannten Peptone, überführt werden.

Die moderne Forschung stellte in jüngster Zeit fest, dass die Peptone überhaupt nicht als Endprodukte der Verdauung anzusehen sind, indem sie durch die physiologische im Magen nachweisbare Elektricität in ihre Bestandteile zerlegt werden.

Es müssen hiernach die elektrochemischen Vorgänge, welche die Überführung der Nährstoffe in den brauchbaren Zustand vermitteln, bei der Erklärung der Verdauungsvorgänge in Vordergrund treten.

Ehe wir uns mit der Magenverdauung beschäftigen, müssen wir noch folgender Thatsachen gedenken:

1. Die Speisen, indem sie in der Mundhöhle zu einem Bissen präformiert werden, nehmen hier elektrische Ladungen auf (s. S. 56).

2. Das Pepsin besitzt, wie alle Fermente, im hohen Grade die Fähigkeit, elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere zu transformieren (s. S. 44 und 45).

3. Die elektrische Energie kann unter gewissen Bedingungen fermentative, putretative oder oxydative Prozesse bewirken (s. S. 46).

4. Die physiologische Elektricität, welcher man eine Wirkung nicht absprechen kann, sieht die moderne Verdauungsphysiologie als den Hauptfaktor der Verdauung an.

Diese Daten haben zu einer wesentlich anderen Auffassung über die Magenverdauung geführt.

Die Magenverdauung setzt sich aus einem elektrochemischen und mechanischen Akte zusammen, von denen jener als Elektrochemie, dieser als Mechanik der Magenverdauung hier behandelt wird, und zwar beginnen wir mit der Elektrochemie der Magenverdauung.

## 1. Elektrochemie der Magenverdauung.

Die Hauptnährstoffe werden durch die im Magen nachweisbare Elektricität in gerade fortschreitender Richtung allmählich zu den höchsten im Magen erreichbaren Verdauungsstufen überführt, wenn auch dazwischen vielfache Haltepunkte eingeschaltet sind, ja sogar zahlreiche Endprodukte der Magenverdauung, die Jonen, sich wieder vorübergehend mit anderen synthetisch vereinigen.

Es kommen also bei der Magenverdauung Dissociationen und Synthesen in Betracht. Diese beiden Verdauungsvorgänge behandelt man gesondert unter nachstehendem Titel:

a) Spaltung der Hauptnährstoffe in fortschreitender Richtung durch die Magenelektricität;

b) Entstehung neuer Verbindungen im Magen unter dem Einfluss der physiologischen Elektricität.

### a) Spaltung der Hauptnährstoffe in fortschreitender Richtung durch die Magenelektricität.

Der elektrische Verdauungsvorgang, welcher die Spaltung der Hauptnährstoffe in fortschreitender Richtung vermittelt, basiert auf der Thatsache, dass das Wasser, die gelösten Salze, Eiweisse, Kohlenhydrate und flüssiges Fett bei 40° unter dem Einflusse der respiratorischen Magendruckschwankungen durch die Elektricität in ihre Bestandteile allmählich zerlegt werden können (s. S. 46).

Es würde uns daher unter vorerwähnten Umständen kaum überraschen, dass die moderne Physiologie im Tiermagen den Verlauf von elektrochemischen Prozessen statuiert, in welchen unter Einwirkung der tierischen Elektricität und der Magendruckschwankungen bei der Magentemperatur das Wasser, die gelösten Nährsalze und die Hauptnährstoffe in ihre Bestandteile zerlegt werden in einer Weise, wie wir es in den künstlichen Verdauungsversuchen finden (s. S. 50).

Ein weitergehender Beweis für diese Auffassung über die elektrolytische Zersetzung der aufgenommenen Nährsubstanzen liegt darin, dass man auf dem Höhepunkte der Verdauung freie Elemente der Nährsubstanzen im Magen vorfindet.

Übrigens ist es bekannt, dass im Magen nascierender Wasserstoff sowie andere Gase vorhanden sind; der nascierende Wasserstoff, welcher offenbar nur durch die

elektrolytische Zersetzung der Magenflüssigkeiten entstanden sein konnte, wurde zuerst von G. Hoppe-Seyler und Kuhn bei Stauungen nachgewiesen.

Ein Teil der Magenflüssigkeiten geht unter dem Einfluss der Magentemperatur, insbesondere während der respiratorischen Wirkung des Magendruckes in den dampfförmigen Aggregatzustand über. Dieser Verdauungsvorgang wird uns verständlich, wenn wir die bekannte Thatsache berücksichtigen, dass Flüssigkeiten bei Abnahme des auf ihre Oberfläche wirkenden Druckes bei sehr niedriger Temperatur verdunsten.

Ein entscheidender Beweis für die Verdunstung der Magenflüssigkeiten liegt darin, dass im lebenden Magen eine Menge Dampf sich thatsächlich vorfindet.

Ebenso wie die Magenflüssigkeiten können auch die darin befindlichen festen Körper durch die tierische Elektricität in ihre Komponenten zerlegt werden, so dass die Hauptnährstoffe, wie Stärke, Fette etc. teilweise im Magen selbst verdaut werden können.

Für die Richtigkeit dieser Erklärung sprechen auch nachstehende Daten:

Wird dem Hundemagen 120 g ungekochter Reis zugeführt, so findet man 10 Stunden später 98 % der Stärke verdaut, trotzdem der Speichel der Hunde so gut wie gar keine amylotische Kraft besitzt. (G. Wolchert, Pflügers Archiv für Phys. 1891.) Da nun die Stärke der Zersetzung durch tierische Elektricität im Magen ausgesetzt war, so erklärt sich dadurch ihre Verdauung.

Wir haben in jüngster Zeit experimentell erwiesen, dass eine erhebliche Verdauung des Fettes im Kaninchenmagen stattfindet; gleiche Resultate haben auch andere Forscher erzielt.

Es ist bekannt, dass Eiweisse im Magen verdaut werden; von den Salzen, welche in den Magen- und Darmkanal gelangen, lässt sich ein erheblicher Verlust nachweisen. Es kann bei Salzen von einfacher Diffusion durch die Magen- und Darmwände ebensowenig wie bei Eiweisskörpern und Fetten etc. die Rede sein. (Hoppe-Seyler, Rohmann u. a.). Die Diffusion der Nährflüssigkeiten durch die Magen- und Darmwände setzt, wie auf Seite 53 erläutert wurde, die Zersetzung derselben durch elektrische Energie voraus.

Nicht nur die Flüssigkeiten, sondern auch Metalle, wenn sie in den Magen gelangen, können durch die physiologische Elektricität im Magen teilweise zersetzt, d. h. in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt werden. Als Beweis für letztere Behauptung dient folgendes: In Zürich hat ein Arbeiter Taschenmesser verschluckt; in den nächsten Tagen darauf trat Aufstossen mit „metallischem“ Geruch auf.

Der weitgehendste Beweis für die Richtigkeit der neuen Verdauungstheorie, nach welcher die Nährsubstanz durch die physiologische Elektricität bei der Magen-

wärme mit Hilfe der respiratorischen Magendruckschwankungen in ihre Bestandteile zerlegt wird, ergiebt sich aus folgendem:

Wird der einem durch Schnitt geöffneten Tiermagen entströmende Dampf in eine Vorlage aufgefangen, und zwar unter Benutzung mehrerer Versuchstiere, um eine bestimmte Menge von Flüssigkeit zu erhalten, so lassen sich in dieser Flüssigkeit Bestandteile der Magencontenta nachweisen. Sie hat etwas salzigen Geschmack und auch, mit etwas Schwefelsäure erwärmt, Geruch nach Ammoniak. Ein Tropfen, der auf einem Glasplättchen freiwillig verdunstet, hinterlässt einen merklichen Fettfleck, der bei öfterem Auftragen eines Tropfens stärker wird und unter dem Mikroskop Krystalle erkennen lässt. Wird er neben Chlorcalcium unter der Glocke der freiwilligen Verdunstung überlassen, so bleibt ein Rückstand, auf 200 Teile etwa 1 Teil. Geglüht färbt dieser Rückstand sich etwas gelblich und giebt den charakteristischen Geruch von organischer Substanz. Auch sind darin durch mikrochemische Prüfung mit Säuren, Platinchlorid und antimonsaurem Kali nachweisbar: Kohlensäure, Kali und Chlor.

Es kann dem Gesagten nach keinem Zweifel unterliegen, dass durch die physiologische Elektricität das aufgenommene Wasser, sowie die darin gelösten Nährsalze, Eiweisskörper, Kohlenhydrate und die flüssigen Fette im Magen selbst bis zu gewissen Grenzen in ihre Bestandteile zerlegt werden, mit welchen sich die Wasserdämpfe des Magens absättigen, so dass letztere als feinste Endprodukte der Magenverdauung anzusehen sind, ja die Nährstoffe sind ausschliesslich nur in Dampfform für die Ernährung und Erhaltung des Organismus brauchbar. Dies steht auch im Einklange mit allen Erfahrungen, welche an anderer Stelle zur Sprache kommen werden.

### b) Entstehung neuer Verbindungen im Magen unter dem Einfluss physiologischer Elektricität.

Die Erscheinungen, die wir im Tiermagen vorfinden, unterscheiden sich in ihrer Art nach in nichts von den Phänomenen, die uns bei künstlichen Verdauungsversuchen entgegentreten. Wir finden auch hier dieselben Ursachen wirkend wie dort: Die elektrochemische Energie, die chemische Affinität, die Valenz, die respiratorischen Magendruckschwankungen, dieselben Bedingungen des chemischen Umsatzes, ähnliche thermische Zustände u. s. w.

Modifizierend wirken im Tiermagen einige Momente, wie die Sekretion der Schleimhaut u. s. w.

In der Entwickelung der Chemie ist die Epoche bemerkenswert, während welcher die Meinung allgemein verbreitet war, als ob an der Hervorbringung

organischer Verbindungen noch eine andere Kraft als die chemische Affinität beteiligt sei, eine Kraft, die ihre Wirkung in den lebenden Organen der Pflanzen und Tiere entfalte und dort all die zahllosen Pflanzen und Tierstoffe erzeuge. Diesbezügliche Aufklärung hat uns die rastlose Forschung jedenfalls gegeben, indem sie in dem elektrischen Strome eine geheimnisvolle Kraft erkannte, welche aus anorganischen oder Mineralverbindungen organische Verbindungen hervorbringen kann. So z. B. lässt sich Kohlenstoff und Stickstoff vermittelst des elektrischen Funkens zu Cyan vereinigen, und hiermit ist die Grundlage zur Darstellung des Harnstoffes aus mineralischen Bestandteilen gegeben (näheres siehe auf S. 50).

Wir haben in vorhergehendem kennen gelernt, dass die Magenflüssigkeiten und die darin gelösten Salze u. s. w. durch die physiologische Elektricität in ihre Bestandteile zerlegt werden; letztere gehen zum Teil wieder neue durch die Druckverhältnisse und die Affinität bedingte Verbindungen ein.

Da z. B. nascierender Wasserstoff und Chlor im Magen sind und hier die Möglichkeit zu gegenseitiger Berührung gegeben ist, so sagt uns schon die einfache Überlegung, dass im Magen unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität Wasserstoff und Chlor sich verbinden; denn die Affinität des Wasserstoffs zu Chlor ist so gross, dass es seinen Verbindungen diesen entzieht, um sich damit zu Salzsäure zu vereinigen. Dass die Salzsäurebildung im Magen unter dem Einflusse der elektrischen Kraft vor sich geht, ist durch folgenden Versuch erwiesen:

Wird dem Magen vermittelst verschluckbaren Elektroden Elektricität zugeführt, so steigt, wie M. Eintwer (Zeitschr. f. klin. Medizin XXIII. 369) zuerst nachwies, der Wert der Salzsäurebildung erheblich.

Die Salzsäure wird also im Magen aus den Bestandteilen der Nahrung (Chlor und Wasserstoff) unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität gebildet; die Salzsäurebildung hört thatsächlich auf, wenn man die Chloride aus der Nahrung ausschliesst (Cahn u. a.).

Ähnliche Betrachtungen, wie wir sie hier für die Salzsäurebildung aufgestellt haben, lassen sich auch für die Bildung der Kohlensäure, Essigsäure, Milchsäure u. s. w. durchführen.

Die Schicksale, welche das Wasser, die Salze, Eiweisse, Kohlenhydrate und Fette im Magen erfahren, lassen sich in kurzem wie folgt ausdrücken:

Das Wasser wird im Magen zum Teil zur Absättigung und Lösung der mehr oder weniger festen Speisen verwendet, zum Teil durch die hohe Magentemperatur in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt und zum grössten Teil durch die physiologische Elektricität in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt, während ein Teil des Wassers nach dem Darm abfliesst, wenn sich der Pylorus geöffnet hat.

Die Salze lösen sich im Magen teilweise auf und erliegen der durch die Wirkung der physiologischen Elektricität bedingten Veränderung und tragen zur Bildung der Salzsäure u. s. w. bei, während die ungelöst gebliebenen Salze nach dem Darm abgehen.

Die Eiweisse werden im Magen zum Teil durch die angesäuerte Magenflüssigkeit in Hydrate, Albuminate umgewandelt, und diese erliegen der durch die Wirkung der physiologischen Elektricität und dem Gesetz der Affinität bedingten Veränderung, dagegen werden die wenig oder gar nicht veränderten Eiweisse aus dem Magen in den Darm geschafft.

Die Fette werden im Magen dahin verändert, dass das Triolein bei der Magentemperatur schmilzt und aus den oberflächlichen Fettzellen heraustritt; inzwischen gehen die leichtlöslichen Bestandteile der Fette unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität in den Jonenzustand über. Die Fettjonen werden zum Teil in die elektro-synthetischen Prozesse verwickelt, zum Teil von dem Wasserdampf mitgerissen und nach jenseits des Digestionskanales getragen, während das unverdaute Fett durch den Pylorus den Magen verlässt.

Die Stärke wird im Magen unter dem Einflusse der Magenwärme und Flüssigkeit zum Teil in leichtlösliche Kohlenhydrate überführt; die leichtlöslichen Kohlenhydrate erliegen im Magen der durch die Affinität, Wirkung der physiologischen Elektricität bedingten Veränderung; hierbei gehen die leichtlöslichen Kohlenhydratbestandteile in den Jonenzustand über. Dies ist der wichtigste Akt der Elektrochemie der Magenverdauung; ein Teil der Stärke, sowie die unverdauten Kohlenhydrate gehen durch den Pylorus nach dem Darmkanal ab, während die Jonen der Kohlenhydrate, Eiweisse, Fette und die Wasserdämpfe durch das Porensystem der Magenwand den Magen verlassen.

Aufschluss hierüber giebt uns die Mechanik der Magenverdauung.

## 2. Mechanik der Magenverdauung.

Die Mechanik der Verdauung löst die Aufgabe, den Magen systematisch zu bewegen, die Nährstoffe, nachdem sie in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt worden sind, durch das Porensystem der Magenwand strahlenförmig nach jenseits des Verdauungsapparates zu befördern und die Mageningesta portionsweise nach dem Darm zu schaffen. Man behandelt diese drei Vorgänge gesondert unter nachstehendem Titel:

a) Bewegung des Magens,

b) Ausstrahlung der dampfförmigen Mageningesta,

c) Überführung der Mageningesta in den Darmkanal.

### a) Bewegung des Magens.

Der Magen wird bei jeder Inspiration durch das niedergehende Zwerchfell mehr oder weniger nach unten bewegt; hierbei steigt der abdominelle Druck, durch welchen der Magen während der nächsten Exspiration wieder in seine frühere Lage gehoben wird, so dass der Magen den Zwerchfellbewegungen entsprechende Bewegungen fortwährend ausführt. Diese Bewegungen hängen also von der Atmung ab, während die Magenbewegung, welche als Achsendrehung des Magens bekannt ist, durch die Nahrungsaufnahme bedingt sei.

Die Wände des leeren unthätigen Magens liegen so aneinander, dass die grosse Kurvatur nach unten, die kleine nach oben gerichtet ist, während beim gefüllten Magen die grosse Kurvatur nach vorn, die kleine nach hinten sieht.

Die Magenwände werden unter dem Drucke des niedergehenden Zwerchfells so gegeneinander gedrückt, dass dadurch der Magendruck während der Inspiration merklich steigt (s. S. 40).

Diese Erfahrung lässt sich kurz durch folgenden Satz ausdrücken:

Der Magen, der Formveränderung der Bauchhöhle folgend, wird dadurch systematisch bewegt und führt eine Drehung um seine Achse nur bei seiner Füllung und nach seiner Entleerung aus, während die Magenwände durch das Zwerchfell intermittierend gegeneinander bewegt werden.

### b) Ausstrahlung der dampfförmigen Mageningesta.

Die Art, wie die dampfförmigen Nährstoffe aus dem Magen in die Bauchhöhle u. s. w. gelangen, lässt sich leicht übersehen, wenn man in Erwähnung zieht die Triebkraft, welche die dampfförmigen Nährstoffe in Bewegung versetzt.

In der Voraussetzung, dass jede Bewegung durch eine Druckdifferenz bedingt sei, versuchten wir uns durch synchronische Druckmessungen und Beobachtungen eine Auskunft über den zeitlichen Druckverlauf im Magen und Abdomen zu verschaffen. Über jeden Zweifel erhebt sich die Thatsache, dass der abdominelle Druck unter den Magendruck beim Beginn der Exspiration sinkt. Es stellt sich also bei jeder Exspiration eine momentane Druckdifferenz zwischen der Bauchhöhle und dem Magen ein, deren Grösse von der Tiefe der Atmung abhängt. Diese momentane Druckdifferenz hat zur Folge, dass die dampfförmigen Nährstoffe, welche, wie jeder dampfförmige Körper das Bestreben hat, die Druckdifferenz auszugleichen, in Bewegung geraten und von den Punkten höheren Druckes (Magen) zu den Punkten niederen Druckes (Bauchhöhle) sich zu bewegen beginnen.

Zur Erläuterung des Gesagten dient folgendes:

Einem Versuchshunde wurde nach Unterbindung des Pylorus durch Methylblau

gefärbtes Wasser in den Magen injiziert. Diese Injektionsmasse wurde ca. 3 Stunden lang der Magenverdauung überlassen, durch welche das Wasser und der Farbstoff gesetzmässig in gerade fortschreitender Richtung unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität u. s w. in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt wurden. In diesem Zustande strahlen sie durch die porösen Magenwände hindurch, nämlich wir überzeugten uns, indem wir das Tier alsdann töteten und die Magenwand mikroskopisch untersuchten, dass die blauen Streifen, welche den Weg, den die Jonen des Farbstoffes bei ihrem Austritt genommen hatten, andeuteten, in den Poren der Magenwand belegen waren.

Das Porensystem der Magenwände, welches die wesentliche Austrittspforte für die Endprodukte der Magenverdauung bildet, ist so angeordnet, dass bei der gegebenen Druckdifferenz nur mit Jonen gesättigte Dämpfe vom Magen nach der Bauchhöhle zu durch dieselbe hindurch strahlen können. Mit anderen Worten: die durch die Magenverdauung in Dampfform überführten Nährstoffe treten durch die porösen Magenwände, wie durch einen Filter hindurch in die Bauchhöhle über, während alles, was nicht verdampft ist, im Magen zurückbleibt.

Dieser Vorgang, dessen praktischer Zweck die Absonderung der brauchbaren Stoffe von den unbrauchbaren ist, kann nicht als Resorption, sondern ist vielmehr als Ausstrahlung der brauchbaren Endprodukte der Magenverdauung zu bezeichnen.

Diese Erfahrung lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken:

Der Wasserdampf, nachdem er sich im Magen mit den Jonen der Eiweisse, Kohlenhydrate, Fette u. s. w. mehr oder weniger gesättigt hatte, tritt von hier vermöge der zwischen dem Magen- und Bauchraum gegebenen Druckdifferenz durch die poröse Magenwand in die Bauchhöhle über, während alles, was die Magenverdauung nicht in den dampfförmigen Zustand überführt hat, nach dem Darm portionsweise abgeht, wie aus folgendem ersichtlich ist.

### c) Überführung der Mageningesta in den Darm.

Um den Vorgang, welcher die Überführung der Mageningesta in den Darmkanal portionsweise vermittelt, im ganzen übersehen zu können, müssen noch folgende Fragen betrachtet werden:

1. Wodurch wird der Pylorusverschluss geöffnet?
2. Wann wird der Pylorus geöffnet und geschlossen?

Zur Erledigung der ersten Frage führen wir folgendes an:

Der Pylorusverschluss vermag, wie diesbezügliche Untersuchungen lehren, dem Magendrucke einen Widerstand bis zu einem bestimmten Maximum zu leisten. Diese Leistung ist im allgemeinen bei jüngeren Individuen höher als bei Erwachsenen.

Thatsächlich erreicht der Magendruck bei jüngeren Individuen einen grösseren Wert als bei Erwachsenen. Der Magendruck, dessen Verlauf die im Kap. I angeführten Kurven zeigen, steigt regelmässig solange, bis die Elasticität der Pylorusmuskulatur überwunden ist, an; denn nach der Überwindung der Kontraktionskraft der Pylorusmuskulatur muss sich der Pylorusverschluss unter dem Einflusse des höchsten Magendruckes öffnen.

Die Pylorusöffnung kommt also durch den ad maximum gestiegenen Magendruck zu stande. Das Charakteristische dabei ist der Nachlass der „motorischen" Kraft der Pylorusmuskulatur, eine Erscheinung, die bekanntlich als Ermüdung der Pylorusmuskulatur bezeichnet wird.

Die Frage, wann der Pylorus geöffnet und geschlossen wird, lässt sich leicht entscheiden, wenn wir auf die normalen Magendruckschwankungen zurückgreifen.

Die normalen, sekundären Magendruckschwankungen, welche bereits im ersten Abschnitt, Seite 39, eingehend besprochen wurden, sind durch die Kurve in Fig. XI schematisch dargestellt. Wir können an der Druckkurve sehen, dass der Magendruck von *a* bis *b* in ca. 90 Sekunden unter kleinen Oszillationen, welche teils durch die Atmung, teils durch den elektrischen Verdauungsprozess bedingt sind, steigt und von *b* bis *c* in ca. 5 Sekunden sinkt.

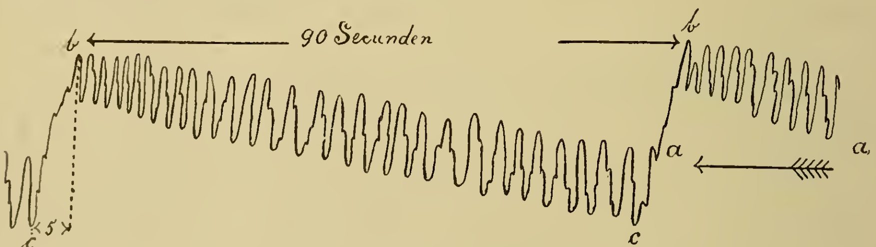



Fig. XI. Schema des Druckverlaufs im Magen.

Es ist nun selbstverständlich, dass die etwa 1¹/₂ Minuten andauernde Steigerung des Magendruckes nur beim geschlossenen Pylorusverschluss erfolgen kann, während das etwa 5 Sekunden andauernde Sinken des höchsten Magendruckes mit dem Nachlass des Pylorusverschlusses zusammentreffen muss, weil diese Druckminderung durch die Expulsion einer bestimmten Stoffmenge aus dem Magen in den Dünndarm bedingt sei.

Der Pylorus öffnet sich also nur dann, wenn der Magendruck seinen maximalen Wert erreicht hat, und schliesst sich nach der Eröffnung in etwa 5 Sekunden wieder, um sich nach 1—1¹/₂ Minuten von neuem zu öffnen; dieser Vorgang, welcher uns die Antwort auf obige Frage giebt, kehrt periodisch wieder, wenn die Atmung normal und der Magen hinreichend mit Nahrung gefüllt ist.

Grundbedingung für die Überführung der Mageningesta in den Darmkanal ist die Druckdifferenz, welche beim geöffneten Pylorus zwischen dem Magen und Dünndarm besteht. Im Magen ist nämlich der Druck nachweisbar höher als im Darmkanal. Diese Druckdifferenz hat zur Folge, dass sich der Pylorusverschluss öffnet (s. S. 68) und der Speisebrei aus dem Magen während des Nachlasses der Pylorusmuskulatur in den Darm übertritt. Inzwischen sinkt der Magendruck ad minimum.

Der Wert des minimalen Magendruckes gleicht de norma dem Werte des maximalen Dünndarmdruckes.

Da der geöffnete Pylorus nach Sinken des Magendruckes sich wieder schliesst und etwa $1-1^1/_2$ Minute geschlossen bleibt, und da derselbe in grösseren Zeitabschnitten geöffnet wird und nur einige Sekunden offen bleibt, so steht nichts dem Schlusse entgegen, dass die Mageningesta in den Dünndarm portionsweise überführt werden.

Heute erkennt man den greifbaren praktischen Zweck dieses mechanischen Vorganges darin, dass die Magenflüssigkeiten, wenn sie in kleiner Menge und in kürzeren Intervallen in den Leerdarm geschafft werden, viel schneller dort verdunsten; näheren Aufschluss hierüber giebt uns die Dünndarmverdauung.

## Viertes Kapitel.

# Die Dünndarmverdauung.

Unsere Kenntnisse über die Verdauung im Dünndarm waren bisher ziemlich bescheiden. Durch die Galle und den pankreatischen Saft werden die Fette in sehr feinen Tröpfchen emulgiert; durch den pankreatischen Saft sollen auch noch die Eiweisse zu Peptone umgewandelt und der Kleister in Dextrin, Maltose und (wenig) Zucker überführt werden. Was die Wirkung des Darmsaftes betrifft, so herrschte bisher nur darin Übereinstimmung, dass er Fibrin auflöst. Im übrigen gehen die Angaben weit auseinander, bald wurde eine fermentative Wirkung auch auf andere Eiweisskörper, auf Stärke und Fette angegeben, bald geleugnet.

Die Thatsache indessen, dass sowohl emulgiertes Fett, als Kohlenhydrate und Hydrat-Albuminate (Peptone) nicht als brauchbare Endprodukte der Verdauung angesehen werden können, indem sie behufs ihrer Ausnutzung im Darm noch weiter durch die physiologische Elektricität verändert werden müssen (s. S. 54), setzt die hohe Bedeutung der Peptonisierung und der Enzymwirkung ziemlich herab.

Bei der Dünndarmverdauung muss demnach die elektrolytische Aktion in den Vordergrund treten, welche die Zersetzung der Nährstoffe vermittelt.

Ehe wir uns mit der Verdauung im Dünndarm beschäftigen, müssen wir noch folgender Thatsachen gedenken:

1. Der Speisebrei, welcher aus dem Magen portionsweise in den Darm übertritt, nimmt im Magen elektrische Ladung auf, die sich bei Fistelhunden im Darme nachweisen lässt.

2. Der Bauchspeichel, Darmsaft und die Galle besitzen die Fähigkeit, wie experimentell auf Seite 43 erläutert wurde, elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine andere zu transformieren.

3. Die Elektricität kann unter gewissen Bedingungen sowohl oxydative als fermentative oder putretive Vorgänge vermitteln (s. S. 44). Diese Bedingungen sind im Verdauungsapparat de norma erfüllt, und man kann daher mit vollem Recht die physiologische Elektricität als den Hauptfaktor der Verdauung ansehen.

Bei der Verdauung im Dünndarm hat man einen elektrochemischen und einen mechanischen Vorgang zu unterscheiden. Man behandelt diese beiden Verdauungsvorgänge gesondert als Elektrochemie und Mechanik der Dünndarmverdauung.

## 1. Elektrochemie der Dünndarmverdauung.

Die Elektrochemie der Dünndarmverdauung setzt sich aus Spaltungsvorgängen und synthetischen Prozessen zusammen. Diese beiden Verdauungsvorgänge behandelt man gesondert unter nachstehendem Titel:

a) Spaltungsvorgänge der Substanzen in gerade fortschreitender Richtung durch die Dünndarmelektricität;

b) Vereinigung der im Darm freigewordenen Körper durch Elektrosynthesen.

### a) Spaltung der Substanzen in gerade fortschreitender Richtung durch die Dünndarmelektricität.

Die Nährsubstanz wird im Dünndarm durch die elektrolytische Aktion in gerade fortschreitender Richtung in ihre Bestandteile zerlegt und teilweise in den dampfförmigen Aggregatzustand überführt, wenn auch dazwischen vielfache Haltepunkte eingeschaltet sind.

Heute erkennt man den greifbaren praktischen Zweck dieser Umwandlung darin, dass die Nährflüssigkeiten in tropfbarflüssigem Zustande nicht durch die Darmwand diffundieren können (s. S. 54.)

Der Dünndarm bekommt vom Magen alle Minute eine kleine Portion Nahrung. Diese Portion kann in sich fassen:

1. alle durch die Magenverdauung noch nicht veränderten Körper, wie z. B. Wasser, Salze, Eiweisse, Fette, Stärke u. s. w.;
2. Reste der im Magen angedauten Nahrung;
3. Sekret der Magenschleimhaut;
4. Gase, Dämpfe, welche im Magen sich gebildet hatten.

Zu diesen Stoffen gesellen sich Galle, Bauchspeichel und Darmsaft.

Im oberen Teil des Dünndarmes, im Leerdarm, geht das Wasser unter dem Einflusse der Körperwärme zum grössten Teil in Dampfform über. Diese Dämpfe wirken auf die Nährsubstanzen ein, so dass dadurch die ungelösten Substanzen mehr oder weniger aufgelockert werden.

Im Dünndarm entfaltet die physiologische Elektricität ihre volle Wirksamkeit. Wenn kleine Mengen von Fetten, Eiweissen, Kohlenhydraten in den Leerdarm gelangen, so werden hier die leicht flüchtigen Bestandteile derselben durch die elektrolitische Aktion aus ihren früheren Verbindungen frei gemacht, ein Ver-

dauungsvorgang, den man mit einer Verdunstung vergleichen kann. Der weitgehendste Beweis für die Richtigkeit obiger Erklärung ergiebt sich daraus, dass der lebende Leerdarm hauptsächlich mit Wasserdampf, Gas und Jonen der Fette, Eiweisse, Kohlenhydrate u. s. w. gefüllt und der Chymus im Krummdarm an leicht flüchtigen Stoffen arm ist.

### b) Vereinigung der im Darm freigewordenen Körper durch Elektrosynthesen.

In der physiologischen Elektricität, welche im Digestionsrohr sich nachweisen lässt (s. S. 35), haben die physiologischen Chemiker ein Mittel erkannt, durch welches nicht allein Spaltungsvorgänge, sondern auch synthetische Prozesse im Darmkanal vermittelt werden sollen.

Man ist im stande, diesen mächtigen Fortschritt der physiologischen Chemie wesentlich zu fördern, wenn man analoge Vorgänge vergleichsweise zum Zweck besseren Verständnisses heranzieht und zwar:

Wenn sich auch Stickstoff und Wasserstoff unter gewöhnlichen Umständen nicht direkt miteinander verbinden, so geschieht dies wenigstens teilweise, wenn man in einem Gemenge der beiden Gase dunkle elektrische Entladungen ohne Funkenbildung hervorruft. Leichter treten beide Elemente in stato nascendi zusammen.

Wie dieses Beispiel lehrt, dürfte es sich im Verdauungsapparate um eine reine Elektrosynthese durch direkte Vereinigung des nascierenden Wasserstoffes und Stickstoffes bei der $NH_3$ Bildung handeln, weil elektrische Ladungen und nascierender Wasserstoff und Stickstoff im Darmkanal nachweisbar sind.

Ähnliche Betrachtungen über die elektrosynthetische Aktion, wie wir sie hier für die Ammoniakbildung im Darm aufgestellt haben, lassen sich auch für die Bildung der Kohlensäure, flüchtiger Fettsäure, Phosphorsäure u. s. w. durchführen.

Die Schicksale, welche das Wasser, die Salze, Eiweisse, Fette, Kohlenhydrate, Darmsekrete und Gase im Dünndarme erfahren, lassen sich kurz durch folgende Worte ausdrücken:

Das Wasser wird im Dünndarme zum Teil unter dem Einflusse der Darmwärme zu Dampf verwandelt, zum Teil durch die physiologische Elektricität in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt, während der Rest des Wassers in den Fäulnisprozess verwickelt wird, welcher im unteren Teil des Dünndarms beginnt und sich im Dickdarm fortsetzt.

Die Salze und salzähnliche Verbindungen unterliegen im Dünndarme der physiologischen Elektrolyse, durch welche sie in fortschreitender Richtung zersetzt, d. h. in den Jonenzustand überführt werden. Ein Teil der Jonen geht neue Verbindungen ein, die in den Fäulnisprozess mit hineingerissen werden.

Die Eiweisse lösen sich im Dünndarm allmählich auf, inzwischen gehen im Leerdarm die flüchtigsten Bestandteile der Eiweisse unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität in den Jonenzustand über. Die Jonen der Eiweisse tauschen sich im Dünndarm nach dem Gesetze der Affinität aus. Der Rest der Eiweisse fällt dem Fäulnisprozesse anheim, welcher im unteren Teile des Dünndarmes eingeleitet wird.

Die leicht schmelzbaren Fette schmelzen im Leerdarme, gleichzeitig gehen die leicht flüchtigen Fettbestandteile unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität und des Wasserdampfes in den Jonenzustand über und erliegen der durch das Gesetz der Affinität bedingten Veränderung. Der Rest der Fette wird im Krummdarme in den Fäulnisprozess mit hineingerissen.

Die Kohlenhydrate, mögen sie als Stärke oder als Zucker in den Leerdarm gelangen, werden hier dahin verändert, dass die leicht flüchtigen Bestandteile der Kohlenhydrate unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität in den Jonenzustand übergehen; man kennt sie als Dämpfe von Kohlenwasserstoff, von Methylalkohol u. s. w. Der Rest der Kohlenhydrate fällt dem Fäulnisprozesse im Krummdarm anheim.

Die Sekrete des Dünndarmes, welche die physiologische Elektricität von einer Spannungsstufe auf eine höhere überführen (s. S. 43), erliegen der durch die Affinität bedingten Veränderung und gehen zum Teil im Leerdarm in den Jonenzustand über, zum Teil werden sie im Krummdarm in den Fäulnisprozess mit hineingerissen. Mit den Jonen der Salze, Eiweisse, Fette, Kohlenhydrate u. s. w. werden die Wasserdämpfe, welche sich im Leerdarm in grosser Menge bilden, gesättigt, und letztere sind als brauchbare Endprodukte der Dünndarmverdauung anzusehen. Wie diese Dämpfe aus dem Digestionsrohr nach jenseits des Verdauungsapparates gelangen, ist aus folgendem ersichtlich.

## 2. Mechanik der Dünndarmverdauung.

Die Mechanik der Dünndarmverdauung löst die Aufgabe:

1. den Dünndarm systematisch zu bewegen;
2. die Nährstoffe, welche sich im dampfförmigen Zustande im Dünndarm befinden, von hier nach jenseits des Darmkanals zu befördern, und
3. die Ingesta vom Dünndarm nach dem Dickdarm zu schaffen.

Diese drei Vorgänge behandelt man gesondert unter folgendem Titel:

a) Bewegungen des Dünndarmes.

b) Ausstrahlung der dampfförmigen Stoffe vom Dünndarm.

c) Überführung der Ingesta aus dem Dünndarm in den Dickdarm.

### a) Bewegungen des Dünndarmes.

Die periodische Verkleinerung und Vergrösserung der Bauchhöhle, welche durch die Abflachung und Hebung des Zwerchfells bedingt ist, hat eine systematische Hin- und Herbewegung des Dünndarmes zur Folge.

Wenn man nämlich bei einem lebenden Tiere das Peritoneum in genügender Ausdehnung freilegt, so sieht man den Dünndarm ab- und aufsteigen, indem er den Formveränderungen der Bauchhöhle entsprechende Bewegungen ausführt. Die Grösse dieser Bewegungen hängt von der Tiefe der Atmung ab.

Die Darmwände werden bei jeder Inspiration durch den Druck des sich abflachenden Zwerchfells so gegeneinander gedrückt, dass dadurch der Druck im Darme während der Inspiration merklich steigt. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man einen Sodamanometer mit einer Dünndarmfistel verbindet.

Diese Erfahrung lässt sich kurz durch folgenden Satz ausdrücken:

Der Dünndarm wird systematisch bewegt, indem er der Formveränderung der Bauchhöhle folgt, während die Dünndarmwände infolge der Abflachung des Zwerchfells mehr oder weniger gegeneinander sich bewegen.

### b) Ausstrahlung der dampfförmigen Dünndarmingesta.

Um den Vorgang, welcher die Ausstrahlung der dampfförmigen Stoffe vom Dünndarm aus nach jenseits des Digestionsrohres vermittelt, im grossen und ganzen veranschaulichen zu können, müssen wir noch folgender Thatsachen gedenken:

Das Lumen des Dünndarms wird während der Inspiration durch das niedergehende, auf die Baucheingeweide drückende Zwerchfell verengert, so dass dadurch der Druck im Dünndarm respiratorisch mehr oder weniger steigt. Dieser Drucksteigerung geht natürlich die respiratorische Drucksteigerung der Bauchhöhle voraus; umgekehrt aber verhält es sich bei der Sinkung des Druckes, nämlich der Druck sinkt bei jeder Exspiration infolge der Zwerchfellhebung zuerst in der Bauchhöhle und zuletzt im Dünndarm.

Es entsteht also im Beginn jeder Exspiration zwischen dem Darmlumen und der Bauchhöhle eine momentane Druckdifferenz, unter welcher die dampfförmigen Ingesta des Dünndarmes stehen; folglich wird ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher mit Beginn der Exspiration Dämpfe aus den Orten höherer Spannung (Darmkanal) zu dem niederer Spannung (Bauchhöhle) schaffen muss.

Durch die Dünndarmverdauung werden die Nährsubstanzen in Dampfform überführt (s. S. 76), und, dass dampfförmige Körper durch die poröse Darmwand widerstandslos passieren können, ist allgemein bekannt. Heidenhain überzeugte sich, indem er durch Methylblau gefärbtes Wasser in abgebundene Darmschlingen einspritzte, die Tiere alsdann tötete und die Darmwand mikroskopisch untersuchte, dass die

blauen Streifen, welche den Weg, den die dampfförmigen Körper genommen hatten, andeuteten, sowohl intra- wie interepithelial gelegen waren.

Das Porensystem der Dünndarmwand stellt also die wesentliche Austrittspforte für die brauchbaren Endprodukte der Dünndarmverdauung dar.

Da durch die lebende Darmwand nicht tropfbar flüssige, sondern nur dampfförmige Körper diffundieren können, so kann man die Darmwand mit einem grossen Filter vergleichen. Durch dieses Filter können nur verdaute Substanzen hindurchtreten, während alles Unverdaute auf dem Filter zurückbleibt, ein physiologischer Vorgang, der die Absonderung der brauchbaren Nährstoffe von den unbrauchbaren vermittelt.

Diese Erfahrung lässt sich kurz durch folgenden Satz ausdrücken:

Der Wasserdampf, nachdem er sich im Dünndarm mit den Jonen der Eiweisse, Kohlenhydrate, Fette u. s. w. mehr oder weniger gesättigt hat, tritt von hier unter dem Einflusse, der zwischen dem Darmlumen und der Bauchhöhle gegebenen Druckdifferenz durch die poröse Darmwand in die Bauchhöhle über, während alles, was durch die Verdauung nicht in den dampfförmigen Zustand überführt worden ist, im Darmkanal zurückbleibt und nach dem Dickdarm überführt wird, wie aus folgendem ersichtlich ist.

### c) Überführung der Ingesta aus dem Dünndarm in den Dickdarm.

Der mechanische Vorgang, welcher die Überführung der Ingesta aus dem Dünndarm in den Dickdarm vermittelt, lässt sich kurz in folgender Weise darstellen:

In dem Moment, als der Magen eine bestimmte Menge von Nahrung an den Dünndarm abgegeben, steigt der Druck im Dünndarm ad maximum, während im Dickdarme im Verhältnis auf jeden Quadratmillimeter der Fläche zum Dünndarm ein schwächerer Druck sich nachweisen lässt.

So entsteht bei jedem Nachlasse des Pylorusverschlusses, d. h. alle 1—1 $^1/_2$ Minuten zwischen dem Dünn- und Dickdarm eine momentane Druckdifferenz, welche nun zur Folge hat, dass die mehr oder weniger dickflüssige Ingesta des Dünndarmes in Bewegung geraten und nach Öffnung der Dickdarmklappe von den Punkten höheren Druckes (Dünndarm) zu den Punkten niederen Druckes (Dickdarm) strömen, um die Druckdifferenz rasch auszugleichen.

Der Vorgang des Übertrittes der Ingesta aus dem Dünndarme in den Dickdarm lässt sich kurz durch folgenden Satz ausdrücken:

Die Dünndarmcontenta, unter dem Einflusse der durch die Dünndarmfüllung im Darmkanal hervorgerufenen Druckdifferenz stehend, treten aus dem Dünndarm in den Dickdarm portionsweise über, so dass die Füllung des Dickdarmes und die Entleerung des Dünndarmes gleichen Schritt mit der Verdauung hält.

Wir gehen nun zur Dickdarmverdauung über.

## Fünftes Kapitel.

# Die Dickdarmverdauung.

Von einer Dickdarmverdauung war bisher so gut wie nichts bekannt.

Dem Fortschritte der Verdauungsphysiologie verdanken wir nun eine Reihe von neuen Thatsachen, welche im Dickdarme eine Verdauung der Eiweisse, Kohlenhydrate, Fette u. s. w. erkennen lassen.

Bei der Verdauung im Dickdarm hat man zu unterscheiden:

1. elektrolytische Prozesse fermentativer und putretiver Natur;
2. mechanische Vorgänge vielfacher Art.

Man behandelt diese beiden Verdauungsvorgänge gesondert als Elektrochemie und Mechanik der Dickdarmverdauung.

### 1. Elektrochemie der Dickdarmverdauung.

Die Elektrochemie der Dickdarmverdauung löst die Aufgabe:

Die stickstoffhaltigen und stickstofffreien Substanzen auf Gase, Dünste und Nebenprodukte zu verarbeiten.

Die Vorgänge, welche die Verarbeitung der Dickdarmingesta auf Gase, Dünste und Nebenprodukte vermitteln, sind früher als Fäulnis- und Gärungsprozesse bezeichnet worden, wobei eine Menge von Nahrung unwiderbringlich zu Grunde gehen sollte.

Die Bezeichnungen putrefatio, fermentatio, digestio hat man schon in früherer Zeit im gleichen Sinne gebraucht (van Helmont „Ortus medicinae"). Trotzdem wäre es heute nicht vorstellbar, dass der Gärungs- und Fäulnisprozess im Darmkanal einen Schlussakt der elektrolytischen Aktion, d. h. der Verdauung darstellt, wenn man nicht erforscht hätte, dass ausschliesslich nur die flüchtigen Körper, welche durch den Fäulnisprozess im Dickdarme entstehen, von hier nach jenseits des Darmkanals übertreten können. Über ihre Bedeutung für die Erhaltung des Organismus werden wir auf anderer Stelle sprechen.

Bei dem Gärungs- oder Fäulnisprozesse geht Stickstoff aus seiner Verbindung in Gasform über. Dadurch werden die stickstoffhaltigen Substanzen gelockert, und infolgedessen zerfallen sie in mehrere Verbindungen, indem ihre chemischen Grundbestandteile Sauerstoff und Wasserstoff begierig aufnehmen.

Wie Nencki u. a. an einer Reihe chemischer Beispiele auseinander gesetzt haben, dürfte es sich bei dem Fäulnisprozess im Dickdarme um eine Zerlegung des Wassers durch die physiologische Elektricität handeln, wodurch dann eben Reduktionen, Oxydationen ermöglicht werden.

Die Verarbeitung der Eiweissreste giebt die Veranlassung zur Bildung von Stoffen, welche als Fäulnisprodukte bekannt sind. Dahin gehören unter anderen flüchtige Fettsäure, $H_2$ $CO_2$, $S_2$ $CH_4$, $N_2$ $NH_3$, Substanzen der Benzolreihe, z. B. Tyrosin, Phenol, Hydrochinon, Brenzkatechin, aromatische Farbstoffbildner wie Skatol und Indol.

Die Kohlenhydrate, wenn sie im mehr oder weniger veränderten Zustande unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität längere Zeit im Blinddarm stehen, zerfallen hier in mehrere Verbindungen, indem Sauerstoff oder Wasserstoff an Kohlenstoffatome übergehen. Der allmähliche Zerfall der Kohlenhydrate im Dickdarme giebt die Veranlassung zur Bildung von Stoffen, welche als echte Gärungsprodukte oder Nebenprodukte bekannt sind, wie Glycerin, Essigsäure, Bernsteinsäure, Buttersäure, Milchsäure, $CO_2$, $H_2$, $CH_4$, Alkohol u. a.

Die festen Fette, nachdem sie eine bestimmte Anzahl Kohlenstoffvalenzen auf dem Wege durch den Dünndarm zur Bildung der $CO_2$ abgegeben, gehen unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität im Dickdarm zum grössten Teil in den Jonenzustand über.

Das Charakteristische bei der Verdauung der Fette oder einer organischen Substanz ist die Sprengung der Kohlenstoffatomkette, welche bekanntlich die Elementaratome der Kohlenstoffverbindungen zusammenhält. Wie die Sprengung im Digestionsrohr geschieht, ist leicht verständlich. Schon in den oberen Abschnitten des Digestionsrohres wird das Wasser durch die physiologische Elektricität in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt. Der nascierende Sauerstoff geht an Kohlenatome über, wobei flüchtige Kohlensäure sich bildet. Dadurch wird ein Glied der Kohlenstoffkette um das andere abgesprengt; nach Absprengung jedes einzelnen Gliedes wird eine bestimmte Anzahl von den Elementaratomen der Kohlenstoffverbindung frei. Diese freien Elemente stellen die brauchbaren Produkte der Verdauung dar, sie können, wie der Wasserdampf, durch die porösen Wände des Verdauungsapparates hindurchtreten; sie erliegen aber zum Teil im Digestionsrohre der durch die Affinität bedingten Veränderung und nehmen Anteil an der Bildung von Stoffen, welche wir als Kunst-

produkte der Verdauung bezeichnen. Zu diesen gehören u. a. Mucin und eine in abgebundener Darmschlinge nachweisbare kotähnliche Masse.

Der Wassergehalt der Kotmassen kann auf dem Wege durch den Dickdarm zum grössten Teil verdunsten, und dementsprechend nimmt der Inhalt des Rektum an Konsistenz zu.

Das Charakteristische bei der Dickdarmverdauung ist die Vergasung der Blinddarmingesta. Die im Blinddarme gebildeten „Gasbläschen" charakterisieren sich durch ihre feine Membran, welche die Gasjonen umhüllt und sich nur in ungesättigten Wasserdampf löst. Die Gasbläschen sammeln sich im Blinddarme an, und mit ihrer Ansammlung steigt die Spannung im Blinddarm bis zu einem gewissen Wert.

Diese Spannung hat einen doppelten Zweck: einmal wird unter der hohen Spannung physiologische Elektricität und Wärme erzeugt, zweitens werden die Schlacken der Gärung aus dem Blinddarm herausgepresst.

Über die weiteren Schicksale der Dickdarmingesta giebt uns die Mechanik der Dickdarmverdauung einen Aufschluss.

## 2. Mechanik der Dickdarmverdauung.

Die Mechanik der Dickdarmverdauung löst die Aufgabe:

1. den Dickdarm systematisch zu bewegen;

2. die Substanzen, welche sich im dampfförmigen Aggregatzustand in dem Dickdarme befinden, von hier nach jenseits des Darmkanals zu befördern;

3. die im Anfangsteil des Dickdarmes befindlichen Substanzen nach dem Rektum zu schaffen, und

4. die Exkremente in bestimmten Zeitabschnitten zu entleeren.

Diese vier Momente behandelt man gesondert unter folgender Überschrift:

a. Bewegungen des Dickdarmes,

b. Ausstrahlung der dampfförmigen Stoffe vom Dickdarm.

c. Überführung der Ingesta aus dem Anfangsteil des Dickdarmes in den Mastdarm,

d. Entleerung des Mastdarmes (Defäkation).

### a) Bewegungen des Dickdarmes.

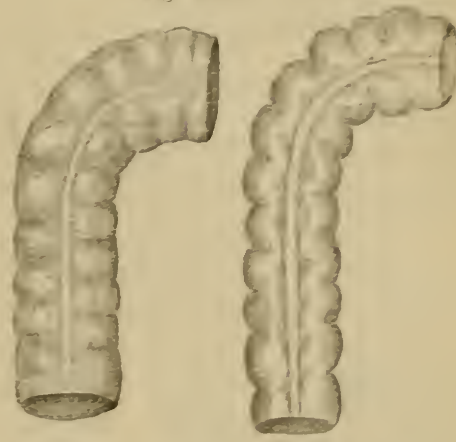
Grundbedingung für die Darmbewegungen ist die Atmung und Formveränderung der Bauchhöhle.

Zur Erläuterung dieser Behauptung dient folgendes:

Die Bewegungen des Zwerchfells üben einen Einfluss auf die Bauchhöhle aus, deren Inhalt unter höheren Druck versetzt der Lage zustrebt, durch welche sie eine solche Form erhält, dass sie bei grösstem Rauminhalt die kleinste Oberfläche ein-

nimmt, d. i. die Kugelgestalt; die Bauchdecken werden also stärker gewölbt und die untersten Rippen nach aussen gedrängt, wie man bei tiefen Inspirationen deutlich fühlen kann. Der Dickdarm führt den Formveränderungen der Bauchhöhle entsprechende Bewegungen aus. Die Einschnürungen zwischen den Cellulae colli, welche gewissermassen ein Faltensystem der Darmwand darstellen, zeichnen sich dadurch aus, dass sie dem Dickdarm gestatten, sich bei jeder Drucksteigerung im Bauchraume je nach Bedarf zusammenzufalten. Wie weit der Dickdarm sich zusammenfalten vermag, ist aus nebenstehender Figur ersichtlich.

Fig. XII.



Schematische Darstellung eines Dickdarmstückes in seiner maximalen Ausdehnung und Zusammenfaltung.

Diese Erfahrung lässt sich durch folgenden Satz ausdrücken:

Die Cellulae colli werden durch den abdominellen „positiven" Druck bei der Inspiration mehr oder weniger aneinander gedrückt, während sie bei dem Sinken des abdominellen Drucks wiederum durch die im Dickdarm befindlichen Spannkraft in ihre frühere Lage gebracht werden, so dass der Dickdarm intermittierend bewegt wird.

### b) Ausstrahlung der dampfförmigen Stoffe vom Dickdarm.

Die vollständig verdauten Nahrungsmittel, welche sich im Dickdarm in Dampfform befinden, treten aus diesem zunächst in die Bauchhöhle über.

Zur Erläuterung dieses Vorganges dient folgendes:

Bei jeder Exspiration sinkt, wie diesbezügliche Untersuchungen lehren, der abdominelle Druck unter den des Darmes, so dass dadurch eine momentane Druckdifferenz zwischen dem Dickdarme und der Bauchhöhle entsteht. Diese Druckdifferenz übt nun einen Einfluss auf die im Dickdarm befindlichen Dämpfe aus, indem die Darmwände ausschliesslich nur für Dämpfe passierbar sind; folglich wird ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher im Beginn jeder Exspiration die dampfförmigen Endprodukte der Dickdarmverdauung von den Orten höheren Drucks (Dickdarm) zu dem niederen Drucks (Bauchhöhle) schaffen muss.

Diese Erfahrung lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken:

Die dampfförmigen Substanzen, Produkte der Dickdarmverdauung, strahlen unter dem Einflusse ihrer hohen Spannung vom Dickdarme aus, indem sie durch die porösen Dickdarmwände wie Lichtstrahlen durch eine Glasscheibe widerstandslos

hindurchdringen können, während der tropfbar flüssige und fest weiche Inhalt des Dickdarmes durch die Darmwand nicht diffundiert, sondern im Dickdarm fortbewegt wird, wie aus folgendem ersichtlich ist.

### c) Überführung der Ingesta aus dem Anfangsteil des Dickdarmes in den Mastdarm.

Um den Vorgang, welcher die Überführung der Ingesta aus dem Anfangsteil des Dickdarmes in den Mastdarm vermittelt, im grossen und ganzen zu übersehen, muss noch das Lumen des Dickdarmes, dessen Durchmesser im Verhältnis zu dem des Dünndarmes, bezw. der Valvula Bauchini, wie 1 zu 5 steht, betrachtet werden.

Indem das Lumen des Dickdarmes um das Fünffache weiter als das der Dünndarmmündung ist, so wird durch den geringen Dünndarmdruck, unter welchem die Ingesta aus dem Dünndarm in den Dickdarm gepresst werden, ein sehr grosser Druck im Dickdarm hervorgebracht. Dieser Vorgang lässt sich am besten durch folgendes Beispiel versinnbildlichen.

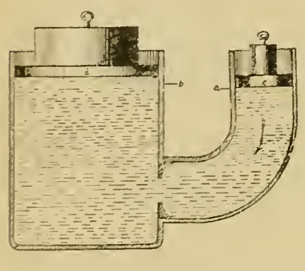


Fig. XIII.

Fig. XIII stellt den vertikalen Durchschnitt zweier durch eine Öffnung verbundener, mit Wasser gefüllter Röhren dar, von denen *a* das untere Ende des Dünndarms und *b* den Anfangsteil des Dickdarms vertritt. In jeder Röhre sei ein schliessender Kolben auf das Wasser gesetzt. Wenn nun auf den Kolben *c*, dessen Querschnitt dreimal kleiner ist als der des Kolbens *d*, ein Kilo gelegt wird, so wird sich der Druck in der Weise bis zum Kolben *d* fortpflanzen, dass gegen jedes Flächenstück von *d*, welches ebenso gross ist als der Querschnitt von *c*, ein nach oben gerichteter Druck von einem Kilo wirkt; man müsste also den Kolben *d* mit drei Kilo belasten, wenn das Gleichgewicht ungestört bleiben soll, während bei geringerer Belastung der Kolben *d*, wie in nebenstehender Figur angedeutet, in der durch die Pfeiler angegebenen Richtung fortbewegt wird.

Die mehr oder weniger feste Kotmasse schliesst ebenso wie ein Kolben den Dickdarm ab. Gegen die Kotmasse wirkt nun der vermehrte Dickdarmdruck wie gegen einen Kolben, und da die Kotmasse dem grossen Dickdarmdrucke keinen Widerstand leisten kann, so wird dieselbe durch den grossen Druck, welcher vom Anfange des Grimmdarmes ausgeht, im Dickdarme nach und nach gegen den Sphincter fortbewegt.

Diese Erfahrung kann man mit kurzen Worten folgendermassen ausdrücken:

Der Dickdarminhalt wird durch den im Anfang des Dickdarmes durch die Dünndarmentleerung hervorgerufenen grossen Druck nach und nach gegen den After fortbewegt.

### d) Entleerung der Exkremente (Defäkation).

Zur vollständigen Ermittelung der Mechanik der Defäkation muss noch die Ursache der Öffnung der Sphincteren betrachtet werden. Die Sphincteren schliessen den Darmkanal wie eine Schleuse ab und besitzen eine Widerstandsfähigkeit, deren Grösse von individuellen Verhältnissen abhängig ist.

Während die Sphincteren geschlossen sind, sammeln sich im Rectum Kotmassen und Gasbläschen an. Diese Ansammlung hat zur Folge, dass der Druck im Rectum in fortschreitender Richtung steigt. Der ansteigende Druck wirkt vom Rectum aus auf die thätigen Sphincterenmuskeln, welche nur bis zu einem bestimmten Grad dem Darmdrucke einen Widerstand leisten können. Es steigt daher der Druck im Rectum so lange, bis er diesen Widerstand überwinden kann. Hat der Druck im Mastdarme den zur Öffnung der Sphincteren nötigen Wert bereits erreicht, so empfindet man ein Hervordrängen der Kotmasse, deren Austritt durch Anstrengung der Sphincterenmuskeln nur für kurze Zeit aufgehalten werden kann; denn der Anstrengung der Sphincterenmuskel folgt rasch die Erschlaffung derselben. Während der Erschlaffung der Sphinctermuskel treten nun die angesammelten, unter hohem Druck stehenden Massen aus dem Darmrohr heraus.

Der maximale Druck des Dickdarmes reicht zur Öffnung der Sphincteren immer nur dann aus, wenn die Exkremente weich genug sind; sind sie aber konsistenter, so tritt die willkürliche Thätigkeit der Bauchpresse hinzu, durch welche der Dickdarm unter einen allseitigen Druck versetzt wird. Infolgedessen steigt der Dickdarmdruck über die Norm und presst die Kotmasse nach passiver Öffnung der Sphincteren aus dem Rectum.

Der hier besprochene mechanische Vorgang der Defäkation lässt sich mit kurzen Worten folgendermassen ausdrücken:

Durch die bei geschlossenen Sphincteren im Rectum sich sammelnden Gase und Kotmasse steigt der Druck im Mastdarm auf sein Maximum, welcher alsdann die angesammelte Masse gegen den geschlossenen Sphincterverschluss so lange drängt, bis die Erschlaffung der thätigen Sphinctermuskeln und die Öffnung der Sphincteren zu stande kommt, während die Exkremente nach der Öffnung der Sphincteren durch den maximalen Dickdarmdruck aus dem Rectum gepresst werden.

## Sechstes Kapitel.

# Anhang.

Mehr wie anderswo ist es in dem Verdauungsapparat möglich, durch Beobachtungen und Experimente eine deutliche Einsicht in das Wesen der Verdauung zu gewinnen.

Der Verdauungsapparat gleicht einem elektrochemischen Laboratorium, indem durch physiologische Elektricität die chemischen Bestandteile der Nährsubstanzen aus ihren früheren Verbindungen frei gemacht werden.

Die chemischen Bestandteile der Nahrungsmittel stellen gewissermassen unsortierte Steine für den Körperbau dar, deren Sortierung und Legierung jenseits des Digestionsrohres erfolgt.

Man sieht leicht, worin sich die alte Verdauungstheorie, nach welcher Hydrate, Albuminate, emulgiertes Fett und Kohlenhydrate bereits die Endprodukte der Verdauung darstellen, von der neuen Physiologie der Verdauung unterscheidet, nach welcher sowohl die Hydrate, Albuminate, als emulgiertes Fett und die Kohlenhydrate, sowie die Nährsalze u. s. w. im Digestionsrohr durch die Elektrolyse in ihre chemischen Bestandteile zerlegt werden.

Der Elektrochemie der Verdauung fällt noch die wichtige Aufgabe zu, neue Verbindungen zu bilden (s. S. 72). Die elektrochemischen Verdauungsprozesse bedingen die Mechanik der Verdauung, deren Aufgabe ist:

1. die aufgenommenen Nahrungsmittel zu zerkleinern;
2. die Speisen während des Kauens mit dem Sekret der Mundhöhle, dem Mundsaft oder gemischtem Speichel auf das Innigste durchzutränken;
3. aus den eingespeichelten Speisen einen rundlichen Ballen, Bissen, zu formen
4. Speisen und Trank durch den Rachen und die Speiseröhre dem Magen zuzuführen;
5. den Inhalt des Verdauungsapparates durch den ganzen Verdauungskanal fortzubewegen;

6. die Ein- und Austrittspforte des Magens und Darmes in bestimmten Zeitabschnitten zu öffnen;

7. die brauchbaren Endprodukte der Verdauung von den unbrauchbaren abzusondern;

8. die unbrauchbaren Stoffe aus dem Darm fortzuschaffen;

9. die im Verdauungskanal befindlichen Dämpfe, welche mehr oder weniger mit den chemischen Bestandteilen der Nahrungsmittel gesättigt sind, von hier nach jenseits des Verdauungskanales überzuführen.

Über die Schicksale, welche die chemischen Bestandteile der Nahrungsmittel jenseits des Verdauungsapparates erfahren, giebt uns folgender Abschnitt einen Aufschluss.

# Dritter Abschnitt.

## Die Schicksale der chemischen Bestandteile der Nahrung jenseits des Verdauungskanals.

Die merkwürdigen Entdeckungen, zu welchen die Forschung auf dem Gebiete der Ernährungsphysiologie geführt hat, erheischen ein etwas tieferes Eingehen auf die einzelnen unten zu erörternden Vorgänge, welche sich in den verschiedenen physiologischen Zuständen in der Peritonealhöhle, den Kapillaren, Geweben, Lymph- und Blutgefässen abspielen.

---

### Erstes Kapitel.

### Die Einnahmen der Peritonealhöhle an Bestandteilen des Ernährungsmaterials.

Wir begleiteten im vorhergehenden Abschnitte die chemischen Bestandteile der Nahrung von ihrem Entstehen im Verdauungsapparate bis zu ihrem Übergang in die Peritonealhöhle. Über die Anwesenheit der chemischen Bestandteile der Nahrung in der Peritonealhöhle scheinen uns folgende Experimente Auskunft zu geben:

Wird einigen verdauenden Tieren der Reihe nach die Peritonealhöhle geöffnet und die derselben entströmenden Dämpfe in eine mit der Peritonealhöhle in Verbindung gebrachten Kühlvorlage aufgefangen, so lassen sich in der erhaltenen Flüssigkeit die chemischen Bestandteile der verdauten Nahrung nachweisen. Zu den hervorragenden Merkmalen dieser Flüssigkeit gehört die Krystallisierbarkeit; die enthaltenen Krystalle haben grosse Ähnlichkeit mit den Blutkrystallen. Es

ergiebt sich nunmehr weiter die Frage, ob die in der Peritonealhöhle befindlichen Arterien an die Peritonealhöhle Blutbestandteile abgeben können. Die diesbezügliche Aufklärung scheinen uns folgende Versuche zu geben:

Wird der in nebenstehender Figur abgebildete Apparat an die A. mesenterica superior befestigt und die Luft in dem Apparat mit Hilfe einer Luftpumpe verdünnt,

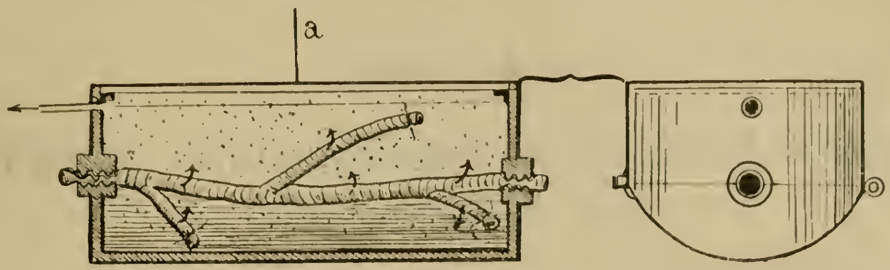



Fig. XIV.

so bemerkt man, dass sich der Apparat mit dichtem Dampf füllt, welcher sich bald an den Glasdeckel *a* niederschlägt. Diese Erscheinung lässt sich jedenfalls nicht anders deuten, als dass die Widerstandsfähigkeit der Arterienwände beim Sinken des auf ihre äussere Oberfläche wirkenden Druckes sich so vermindert, dass der Austritt dampfförmiger Blutbestandteile durch die porösen Gefässwände möglich ist.

Diese Ansicht lässt sich noch dadurch stützen, dass die Arterien de norma erhebliche Mengen von dampfförmigen Körpern enthalten; wird nämlich eine Arterie im kühlen Raum geöffnet, so bemerkt man, dass aus der Arterie zunächst die Blutdämpfe und gleich hinterher die Blutflüssigkeiten herausströmen.

Es steht also nichts dem Schlusse entgegen, dass aus den in der Peritonealhöhle frei liegenden Arterien Blutbestandteile in Dampfform während der Exspirationsphase in die Peritonealhöhle gelangen können.

Diese Erfahrung lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken. Die Peritonealhöhle, in welcher bei jeder Exspiration ein Saugraum entsteht, nimmt während der Verdauung sowohl vom Digestionskanal, als auch von den in der Peritonealhöhle liegenden Arterien Substanzen in Dampfform auf.

## Zweites Kapitel.

# Verhalten der Bestandteile des Ernährungsmaterials auf dem Wege durch die Peritonealhöhle.

Zu den Bestandteilen des Ernährungsmateriales gehören:

a) die chemischen Bestandteile der Nahrung, welche während der Verdauung bei jeder Exspiration unter Annahme elektrischer Ladungen in bestimmten Mengen von dem Digestionskanal in die Peritonealhöhle übertreten;

b) die Blutdämpfe und Gase, welche bei jeder Exspiration aus den im Abdomen freiliegenden Arterien austreten (s. S. 85). Zu diesen gesellen sich noch die chemischen Bestandteile der Lymphe.

Über das Verhalten dieser Substanzen auf dem Wege durch die Peritonealhöhle scheinen uns folgende Erfahrungen Aufschluss zu geben:

Die chemischen Bestandteile der Nahrung, unter welchen sich elektropositive und elektronegative Elemente unterscheiden lassen, kommen in der Peritonealhöhle mit den Blut- und Lymphgasen und Dämpfen in Berührung, folglich können sich während der ganzen Exspirationsphase in der Peritonealhöhle wie in einer Retorte unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität elektrochemische Prozesse vollziehen, in welche die chemischen Bestandteile der Nahrung auf ihrem Wege durch die Peritonealhöhle verwickelt werden.

Zum Verständnis der Veränderungen, welche die chemischen Bestandteile der Nahrung in der Peritonealhöhle erfahren können, möge folgendes dienen:

Die Jonen der Halogenen und nascierender Wasserstoff treten im Beginn der Exspiration vom Digestionskanal in die Peritonealhöhle über (s. S. 74), wo dieselben bis zur nächsten Exspiration verbleiben; in dieser Zeit kann in der Peritonealhöhle Halogenwasserstoff entstehen, weil der Wasserstoff ein grosses Verbindungsbestreben mit den Halogenen hat.

Es können dem Gesetze der Affinität nach jenseits des Verdauungsapparates, insbesondere in der Bauchhöhle bei der Anwesenheit verschiedener chemischer Be-

standteile der Nahrung, der Lymphe und des Blutes die einfach zusammengesetzten Moleküle entstehen. Darin liegt aber die Möglichkeit, dass auch unter dem Einflusse der physiologischen Elektricität in der Bauchhöhle aus den einfachen Molekülen komplizierte organische Moleküle entstehen können, welche, mehr oder weniger chemisch verwandt, verschiedene Eigenschaften zeigen.

Diese Ansicht lässt sich noch durch folgendes stützen:

Wird die Bauchhöhle einem Versuchstier in der zweiten Verdauungsstunde geöffnet, so steigen flüchtige Körper (neugebildete Moleküle) aus der Bauchhöhle mit ungleicher Geschwindigkeit empor, und man kann durch den Geruchsinn wahrnehmen, dass der Dampfstrom nicht bloss Wasserdämpfe, sondern auch Moleküle der aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen etc. enthält.

Die Vorstellung, welche wir uns über das Verhalten der Bestandteile des Ernährungsmateriales auf dem Wege durch die Peritonealhöhle zu machen haben, ist folgende: Die verschiedenen chemischen Bestandteile der Nahrung, sowie die des arteriellen Blutes und der Lymphe, deren Eintritt in die Peritonealhöhle mit Beginn der Exspiration stattfindet, gehen hier während der Exspirationsphase unter dem Einfluss der physiologischen Elektricität zum grossen Teil einfach zusammengesetzte organische Verbindungen ein, während die Elemente, welche in der Peritonealhöhle keine Paarlinge vorfinden, im Jonenzustande längere oder kürzere Zeit in der Bauchhöhle verbleiben.

## Drittes Kapitel.

# Die Austeilung des Ernährungsmaterials während der Verdauung vom Peritonealraum aus direkt an die verschiedenen Organe.

Die interessante im vorhergehenden Kapitel angeführte Thatsache, dass die chemischen Bestandteile der Nahrung zum Teil während der Exspirationsphase in der Peritonealhöhle neue organische Verbindungen eingehen, welche zur Entwickelung und Ernährung der Zellen der Gewebe geeignet sind, gab uns die Veranlassung, den Faktoren, durch welche das Ernährungsmaterial aus der Peritonealhöhle in die verschiedenen Gewebe geschafft wird, nachzuforschen.

Wir gingen hierbei folgendermassen zu Werke:

Wir injizierten in die Bauchhöhle eines Kaninchens und eines Meerschweinchens ein Destillat von Nahrungsmitteln, das mit Methylblau gefärbt war.

Die Injektion wurde am ersten und dem folgenden Tage morgens und abends gemacht.

Nach fünf Tagen wurde die Sektion vorgenommen und gefunden, dass in dem ganzen Kapillarsystem eine Spur von dem injizierten Stoff nachweisbar war, die den Weg andeutete, den die Injektionsmasse bei ihrem Austritt aus der Peritonealhöhle genommen hatte.

Dass die Peritonealhöhle vermittelst der Kapillaren mit den einzelnen Organen in direkter Verbindung steht, geht noch aus folgenden in jüngster Zeit angestellten Versuchen hervor:

Thonhoffer, nachdem er an Menschenleichen und Tieren in die subcrainale Höhle Lösungen von Berlinerblau injizierte, fand die zwischen Hirn und Schädel gelegenen Höhlen nicht nur mit den von älteren Autoren beschriebenen Gängen im Zusammenhang, sondern auch mit der Bauch- und Brusthöhle; ja Thonhoffer hat auch solche Präparate, die zeigen, dass mit der Peritonealhöhle die Kapillarbahnen, die Lymphwege, die Spalträume des Bindegewebes und die Schädel und Knochenhöhlen zusammenhängen (Arch. du Bois-Reymond 1891, S. 301).

Da nun die Kapillarbahnen mit dem Peritonealraum unmittelbar zusammenhängen, und da sie die Gewebe der verschiedenen Organe systematisch durchziehen, so liegt die Vermutung vor, dass die Kapillaren die eigentlichen Abzugswege des Ernährungsmateriales darstellen können und dass das Ernährungsmaterial aus der Peritonealhöhle durch die Kapillarbahnen in die verschiedenen Gewebe geleitet werden kann.

In diesem Sinne deuteten auch andere Autoren die Aufsaugung fein verteilter Körper aus der Peritonealhöhle.

Übrigens liefern die Injektionsversuche mit im Wasser und Öl aufgelösten unlöslichen Körpern, wie Stärke, Zinnober, Russ etc. in die Peritonealhöhle, den unwiderlegbaren Beweis dafür, dass Zinnober, resp. sehr feine Stärkekörner aus dem Peritonealraum ausschliesslich nur durch die Kapillaren in die Körpergewebe gelangen.

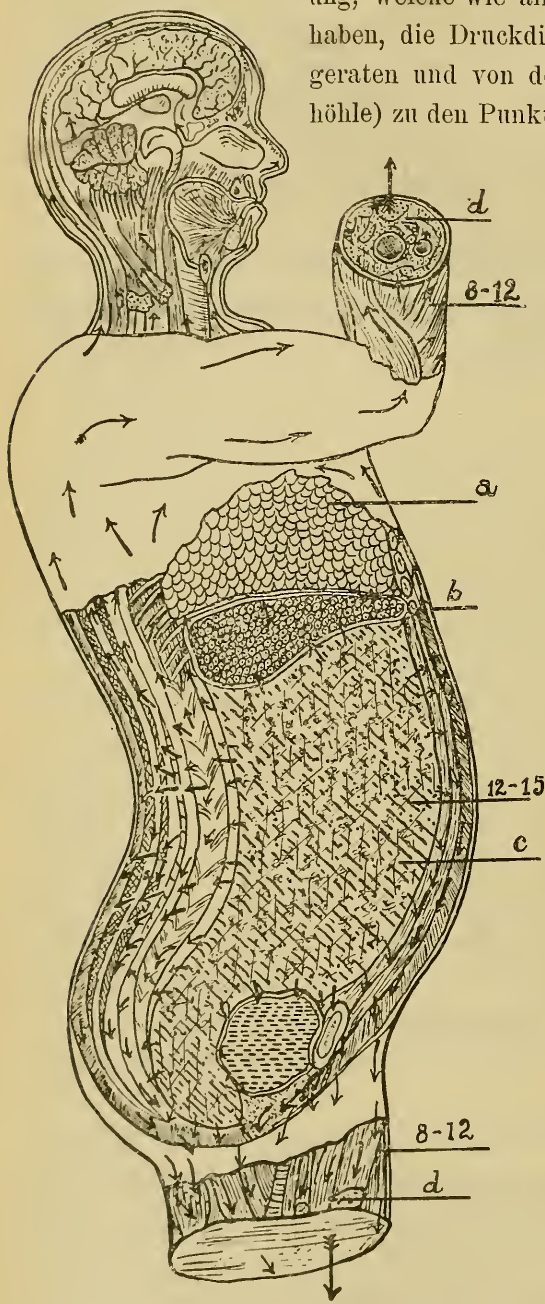
Ehe ein so weittragender Schluss Anerkennung finden darf, müssen noch die Kräfte ermittelt werden, durch welche das Ernährungsmaterial von der Peritonealhöhle aus direkt vermittelst der Kapillaren in die Gewebe geschafft wird. Die diesbezügliche Aufklärung möge hier folgen und zwar:

Nachdem wir im II. Abschnitte kennen gelernt haben, dass die Bauchhöhle während der Verdauung Wasserdampf und Jonen der Eiweisse, Fette u. s. w. vom Digestionskanal bezieht, können wir uns hier mit der Spannung des Dampfes nach seinem Eintritt in die Peritonealhöhle beschäftigen.

Die Spannung des Dampfes in der Peritonealhöhle ändert sich bei jedem Atemzuge. Diese Spannung nimmt bei jeder Inspiration zu und bei jeder Exspiration ab und erreicht ihren maximalen Wert „während der Verdauung“. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man einem Versuchstiere die Bauchwand perforiert und in die Bauchhöhle das vordere Ende von dem bereits auf Seite 38 beschriebenen Magendruckmessapparate einführt. So fand man die höchste Spannung der Dämpfe in der Peritonealhöhle junger Tiere bei Vermeidung von Dampfabfluss durch die Bauchöffnung zu 13—15 Hg. Jedenfalls ist die Spannung unter natürlichen Verhältnissen als noch grösser anzusehen.

Die Steigerung dieser Spannung wird begünstigt durch tiefe Atembewegung, indem der Inhalt der Bauchhöhle durch das niedergehende Zwerchfell bei jeder Inspiration unter hohen Druck versetzt wird, während in den Kapillaren, Spalträumen des Bindegewebes sowie in den Schädel- und Knochenhöhlen ein relativ niedriger Druck herrscht, etwa 8—12 mm. So entsteht zwischen dem zentralen und peripheren Teil des tierischen Organismus bei jeder Inspiration eine momentane Druckdifferenz, welche nun zur Folge hat, dass die innerhalb der Peritonealhöhle

Fig. XV.




Schematische Darstellung der Ausstrahlung flüchtiger Nährsubstanzen aus der Peritonealhöhle und der natürlichen Stoffverteilung im ganzen Körpergewebe.

befindlichen Dämpfe und chemischen Bestandteile der Nahrung, welche wie alle elastisch-flüssige Körper das Bestreben haben, die Druckdifferenz rasch auszugleichen, in Bewegung geraten und von den Orten höherer Spannung (Peritonealhöhle) zu den Punkten niederer Spannung (Körpergewebe) in den Kapillaren strahlenförmig strömen.

Mit anderen Worten: die mit Nährsubstanzen geschwängerten Wasserdämpfe, welche im Beginn der Exspiration von dem Verdauungsapparat in die Bauchhöhle geschafft worden sind, treten von hier bei der nächsten Inspiration in die Gewebe strahlenförmig über. Zur Versinnbildlichung dieses physiologischen Vorganges möge das nebenstehende Schema dienen.

Die Peritonealhöhle stellt gewissermassen einen Kraft- und Stoffbehälter dar, aus welchem die einzelnen Organe systematisch gespeist werden.

Die Einnahmen und Abgaben der Peritonealhöhle an gas- und dampfförmigen Nährstoffen sind während der Verdauung grösser als im Hunger. Hierfür sprechen auch folgende höchst einfache Versuche.

---

In Figur XV sei: a. die Lunge in der Inspirationsstellung; b. das sich abflachende Zwerchfell, auf die Baucheingeweide drückend; c. die Peritonealhöhle mit Nährsubstanzen flüchtiger Natur gefüllt; d. die sich kreuzenden zwischen den Spalträumen und Fascien liegenden Muskelbündel, in welchen sich eine Menge von flüchtigen Nährstoffen ansammeln kann.

Die Zahlen 12—15 deuten die Spannung der im Peritonealraum befindlichen Gase und Dämpfe an, während die 8—12 den Kapillarendruck angeben.

Die Pfeile zeigen die Stromrichtung der dampf- und gasförmigen Nährstoffe in den Kapillargefässen an.

Wird ein gut genährtes Tier im nüchternen Zustande, ein anderes in der zweiten Verdauungsstunde getötet, so bemerkt man beim Abziehen der Haut Dämpfe und flüchtige Nährstoffe aus den Körpergeweben emporsteigen, deren Menge von der Nahrungsaufnahme abhängt, d. h. die Körpergewebe des hungernden Tieres enthalten eine nicht so grosse Dampfmenge als die der verdauenden Tiere.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Kapillaren, welche die Körpergewebe gleichwie Bewässerungskanäle eine Wiese systematisch durchziehen, während jeder Inspiration eine bestimmte Stoffmenge der Peritonealhöhle entnehmen und dieselbe auf dem kürzesten Wege an ihren Bestimmungsort führen.

## Viertes Kapitel.

# Verhalten des Ernährungsmateriales während der Verdauung auf dem Wege durch die verschiedenen Gewebe und Verwendung desselben im tierischen Haushalte.

Das Ernährungsmaterial, welches laut vorhergehendem Kapitel vermöge seiner hohen Spannung aus der Peritonealhöhle in die Kapillaren der verschiedenen Organe eingedrungen ist, setzt sich aus Wasserdampf, Grundstoffen und heterogenen Verbindungen zusammen. Diese Substanzen verlassen die Kapillaren auf dem Wege durch die Körpergewebe, in dem sie durch die dünnen porösen Wände derselben in Dampfform hindurchtreten und in die umliegenden Gewebe eindringen, um sie mit Ernährungsmaterial zu versehen. (Gleichzeitig kommen die elektrischen Ladungen des Ernährungsmaterials den Geweben als lebendige Kraft zu Gute). Die Strömung des Ernährungsmaterials durch die Gewebe stellt den sogen. Irrigationsstrom dar.

Bei der Besprechung der Verwertung des Ernährungsmateriales im tierischen Haushalte kommen folgende Hauptmomente in Betracht:

1. die Einnahmen und Ausgaben der Zellen der Gewebe an Substanzen gas- und dampfförmiger Natur;

2. die Einnahmen der Venen an dampf- und gasförmigen Substanzen und die Umwandelung derselben zu Blutflüssigkeit;

3. der Abfluss der Lymphe in die Peritonealhöhle, die Einnahmen der Lymphgefässe an gas- und dampfförmigen Substanzen und die Verdichtung derselben zu Lymphflüssigkeit;

4. die Umwandelung von dampf- und gasförmigen Nährsubstanzen zu Parenchymflüssigkeit.

### 1. Die Einnahmen und Ausgaben der Zellen der Gewebe an Substanzen gas- und dampfförmiger Natur.

Die Zellen der Gewebe kommen mit den gas- und dampfförmigen Substanzen in Berührung, welche der Irrigationsstrom durch die einzelnen Gewebe führt.

Die Zellen der Gewebe besitzen, wie die Parenchymflüssigkeiten, die Fähigkeit, aus ihrer Umgebung eine bestimmte Menge von Gas- und Wasserdampf zu absorbieren.

Man nennt das auf 0° und den Druck von 760 mm reduzierte Gasvolumen, welches die Volumeneinheit des Zellgewebes oder einer Flüssigkeit unter dem Drucke von 760 mm absorbiert, den Absorptionskoëffizienten des Gases für das Zellgewebe bezw. für die Flüssigkeit.

Da die Gewichtsmengen des von einer Substanz imbibierten Gases sich direkt verhalten, wie der äussere Druck, unter dem das Gas steht, (Henry-Daltonsches Gesetz) so folgt daraus, dass die Spannung der Dämpfe und Gase, welche der Irrigationsstrom durch die einzelnen Gewebe führt, einen Einfluss auf die Ernährung der Zellen der Gewebe ausüben müsste.

Welcher Art Vorkehrungen bei der Ernährung der Zellen der Gewebe getroffen seien, soll nun in kurzen Worten klar gelegt werden.

Man zieht in Betracht, die im vorhergehenden Kapitel sichergestellte Thatsache. dass der Druck in der Peritonealhöhle bei jeder Inspiration im Gefolge der Zwerchfellabflachung erheblich steigt und bei darauf folgender Exspiration um gleichviel sinkt.

Auf Grund dieser Thatsache kann man schliessen, dass — weil die Kapillaren mit der Peritonealhöhle in direkter Verbindung stehen — der Kapillardruck respiratorische Schwankungen erleiden muss; und da nun bekanntlich die Kapillaren mit dem Parenchymraum von Organen kommunizieren, so muss die Spannung in demselben ebenfalls bei jeder Exspiration erheblich sinken und bei jeder Inspiration um gleichviel steigen, was zweifellos einen Einfluss auf die Zellen der Gewebe ausübt und zwar in dem Sinne, dass bei der Steigerung des auf den Zellleib allseitig wirkenden Druckes leicht diffusiblen flüchtigen Substanzen dem Zellleib einverleibt werden können. Mit anderen Worten: die Spannung in dem zwischen den Zellen der Gewebe gelegenen Raum ist während jeder Inspirationsphase grösser, als die in den lebenden Zellen der betreffenden Gewebe, folglich wird ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher Substanzen von den Orten höherer Spannung (Räume, die zwischen den Zellen der Gewebe liegen) nach den Orten niederer Spannung (die Zellen der betreffenden Gewebe) schaffen muss.

In den Zellleib treten sowohl elektropositive, als auch elektronegative Elemente ein, von denen einige mit dem Zellprotoplasma „additionelle Vereinigung“ eingehen. Dahin gehören die Elemente, welche sich vorzugsweise positiv elektrisch zu dem Zellprotoplasma verhalten. Die additionelle Vereinigung sei, wie jede chemische Anziehung elektrischer Natur, durch eine elektrische „Unpolarität“ hervorgebracht.

Dies alles vollzieht sich während der Inspirationsphase unter dem Einflusse der maximalen Spannung der Gase und Dämpfe des Irrigationsstromes.

Sobald sich die Exspirationsphase eingestellt hat, sinkt die maximale Spannung der Dämpfe in der Peritonealhöhle (s. S. 89); folglich sinkt auch der Kapillardruck; gleichzeitig nimmt der auf die Zellen der Gewebe von aussen wirkende Druck des Irrigationsstromes ab, und diese Abnahme würde schon unter normalen Verhältnissen vollkommen genügen, um die Ausgaben der Zellen der Gewebe an unbrauchbaren Substanzen zu ermöglichen. Zu diesen gehören: a) die in die Zellen der Gewebe eingedrungenen Körper, welche für letztere deshalb unbrauchbar sind, weil ihnen eine additionelle Vereinigung mit dem Zellprotoplasma nicht zukommt; b) die Stoffe der regressiven Metamorphose.

Dieser Vorgang, welcher die Ernährung der Zellen der einzelnen Gewebe bis zu ihrer Sättigung (s. S. 88) vermittelt, kehrt periodisch wieder und hält mit der Atmung gleichen Schritt, weil er von der Atmung abhängig ist.

Diese Erfahrung lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken:

Die durch die einzelnen Gewebe strömenden Grundstoffe, Gasmoleküle und Wasserdämpfe werden durch die gegebene Druckdifferenz während der Inspirationsphase in die Zellen der betreffenden Gewebe geschafft, hier gehen die für die Zellen der Gewebe brauchbaren Körper mit dem Zellprotoplasma chemische Verbindung ein, während die unbrauchbaren Stoffe aus dem Zellleib bei nächster Exspiration wieder ausgeschieden werden.

### 2. Die Einnahmen der Venen an dampf- und gasförmigen Substanzen und die Umwandlung derselben zu Blutflüssigkeit.

Die gebräuchlichen Nahrungsmittel enthalten, wie bekannt, die Elemente, welche zu Blutbestandteilen werden können.

Wir begleiteten in einem früheren Kapitel die chemischen Bestandteile der Nahrung von ihrem Entstehen im Verdauungsapparat bis zu ihrem Übergang in die Parenchymräume von Organen. Über die Art und Weise, wie dieselben in die Venen gelangen und dort zu Blutflüssigkeit umgesetzt werden, scheinen uns nachstehende Versuchsergebnisse eine Auskunft zu geben:

Den Venen wird durch die saugende Lunge bei jedem Atemzuge eine Blutmenge rasch entzogen. Die Versuche, denen dieser Satz entnommen wurde, sind in der Ježekschen Schrift „Umsturz der Harveyschen Lehre vom Blutkreislauf etc.“ (Stuttgart, Hobbing & Büchle, Preis 2 Mark) angeführt.

Indem die Hauptvenenstämme an die sich kollabierenden Lunge eine bestimmte Blutmenge abgeben, sinkt der Blutdruck in denselben unter den atmosphärischen.

Während die Hauptvenenstämme unter dem negativen Drucke stehen, herrscht in den die Venen umschliessenden Räumen (Lücken der lockeren Zellgewebsschicht, Bauch- und Schädelhöhle) ein positiver Druck. Es stellt sich also bei jedem Atemzuge zwischen diesen Räumen und den Venen eine momentane Druckdifferenz ein, welche zur Folge hat, dass die unter höherem Drucke stehenden Substanzen, welche sich im elastisch-flüssigen Aggregat rings um die saugenden Venen befinden, durch die feinen Poren der Gefässwände hindurchtreten und den in dem Venensystem entstandenen Saugraum füllen; gleichzeitig wird dieser Saugraum mit Wasserdampf gesättigt.

Zum Verständnis des Vorganges, welcher die Umwandelung der dampf- und gasförmigen Substanzen zu Blutflüssigkeit vermittelt, können wir einiger Thatsachen nicht entbehren, deren Darstellung hier folgen möge:

Die Lunge übt während ihrer Ausdehnung einen nachweisbaren Druck auf die in dem Brustraume frei gelegenen Hauptvenenstämme aus. Dadurch wird nicht nur der Blutabfluss nach der Lunge gehemmt, sondern auch die bekannte „Rückstauung" des venösen Blutes verursacht.

Da nun diese rückstauende Blutmasse den mit dem Wasserdampf gesättigten Saugraum der Venen zum Teil wieder einnimmt, so muss dabei ein Teil des Wasserdampfes in den Venen wieder zu tropfbarer Flüssigkeit verwandelt werden, weil dieser kleinere Raum im Zustande der Sättigung auch weniger Dampf aufnimmt. Ist jener Raum z. B. nicht gesättigt, so befolgen die Dämpfe so lange das Mariottsche Gesetz, bis die Sättigung eintritt.

Hiernach erklärt sich die Bildung des im Blut zu 79 Gewichtsprozent vorhandenen Wassers, das — um einen grobsinnigen Ausdruck zu gebrauchen — ein Destillat der Magen- und Darmflüssigkeiten darstellt (s. S. 52).

Kaum dass sich eine Anzahl von Dampfpartikelchen in der Blutbahn zu einem Wassertröpfchen umgewandelt hat, kann dieses Wassertröpfchen aus seiner Umgebung gasförmige Körper absorbieren und zwar um so grössere Gewichtsmenge, je mehr der Blutdruck steigt.

Unter dem Einflusse der Blutdrucksteigerung gehen zweifellos die von den Wassertröpfchen absorbierten verschiedenartige Gasmoleküle eine neue chemische organische Verbindung ein.

Zur Rechtfertigung dieser Behauptung möge die Thatsache genügen, dass sich in den betreffenden Gasmolekülen elektropositive und elektronegative Elemente unterscheiden lassen, welche durch gegenseitige additionelle Vereinigung wieder teils positiv, teils negativ elektrische organische Verbindungen erzeugen können.

Zweifellos handelt es sich hier um einen elektrochemischen Kunstgriff der Natur,

durch welchen die Möglichkeit der Entstehung von eigenartigen Klümpchen, morphologischen Elementen, gegeben ist, deren Existenz zuerst Leeuwenhoeck (1673) mit Hilfe des Mikroskops in der Blutflüssigkeit festgestellt hat.

Da nach der Nahrungsaufnahme in der Raumeinheit die Zahl der Formelemente des normalen Blutes erheblich zunimmt (s. S. 14), so steht nichts dem Schlusse entgegen, dass die Bildung der Blutkörperchen hauptsächlich während der Verdauung in der angegebenen Weise vor sich gehen kann.

Die angeführten Daten liefern uns den Beweis dafür, dass die Venen, indem sie eine bestimmte Blutmenge während der Exspiration an die Lunge abgeben, dafür dampf- und gasförmige Körper aus dem Gewebe, der Peritonealhöhle und den Lymphdrüsen (s. S. 4) aufnehmen, welche zur Regenerierung des venösen Blutes verwendet werden.

### 3. Der Abfluss der Lymphe in die Peritonealhöhle, die Einnahme der Lymphgefässe an gas- und dampfförmigen Substanzen und die Verdichtung derselben zur Lymphflüssigkeit.

Zum Verständnis des physiologischen Vorganges, welcher den Abfluss der Lymphe in die Peritonealhöhle vermittelt und den Lymphgefässen die für ihre Zwecke brauchbaren Substanzen zukommen lässt, können wir einiger Daten nicht entbehren, deren Erwähnung hier folgen möge:

In der Peritonealhöhle sinkt der Druck während der Exspiration und steigt während der Inspiration (s. S. 89). In dem Peritoneum finden sich, wie zuerst von Recklinghausen gefunden hat, freie Öffnungen, durch welche die Lymphgefässe mit der Bauchhöhle kommunizieren. Diese Öffnungen sind so gross wie die Lymphkörperchen. Die Lymphflüssigkeiten können auf diesem Wege von den Lymphgefässen der äusseren peritonealen Seite aus in die Bauchhöhle gelangen. Der Abfluss der Lymphe in die Peritonealhöhle wird begünstigt durch die Atembewegungen, indem bei jeder Exspiration der abdominelle Druck sinkt, und währenddem kann sich der Lymphstrom, welcher unter einem Drucke von 8—10 mm fliesst, in die Bauchhöhle ergiessen.

Kaum nachdem die Lymphgefässe während der Exspiration an die Peritonealhöhle eine bestimmte Lymphmenge abgegeben haben, sinkt die Spannung der Gase im ganzen Lymphgefässsystem unter die Spannung der Wasserdämpfe, Gasmoleküle, Grundstoffe, welche in den Spalträumen des Bindegewebes verbreitet sind; folglich wird ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher die elastisch-flüssige Substanzen aus den Orten höherer Spannung (Gewebe) zu den niederer Spannung (Lymphgefässen und Drüsen) schaffen muss.

Die Entscheidung der Frage, ob die Lymphgefässe auch Substanzen in tropfbar-flüssigem Aggregat aufnehmen können, lässt sich durch folgenden Versuch anstreben.

E. Jurkuff*) injizierte in der Dorsalgegend des Meerschweinchens, Kaninchens und der Taube ein passendes Gemenge von Paraffinum solidum mit Paraffinum liquidum, das mit einem in den Körpersäften unlösbaren Farbstoff (Präparat aus Azobenzol) gefärbt und bei Körpertemperatur „flüssig“ war. Nach wenigen bis 70 Tagen wurde die Sektion vorgenommen und gefunden, dass die injizierte Masse sich diffus in den Spaltenräumen des Bindegewebes verbreitet, sich an den niedrigsten Stellen des Körpers in grösseren Mengen angesammelt hatte und bis in die Bauch-, Schädel- und Knochenhöhlen u. s. w. gelangt war; jedoch konnte weder makroskopisch noch mikroskopisch etwas von der injizierten Masse als solcher in den Lymphbahnen oder Lymphknoten beobachtet werden. Es folgt hieraus, dass die Lymphgefässe de norma Substanzen in tropfbar-flüssigem Aggregatzustande nicht aufnehmen können.

Um den Vorgang, welcher die Umwandelung der Dämpfe und der Gasmoleküle zu Lymphflüssigkeit innerhalb der Lymphbahn selbst vermittelt, im grossen und ganzen leichter übersehen zu können, müssen noch die respiratorischen Druckschwankungen innerhalb und ausserhalb der Lymphgefässe betrachtet werden.

Die Spannung der Wasserdämpfe und Gase, welche sich rings um die Lymphgefässe, d. h. in den Spaltenräumen der Bindegewebe befinden, nimmt während der Inspiration zu und während der darauf folgenden Exspiration ab (s. S. 93).

Der Grund für diese Abnahme liegt jedenfalls darin, dass während der Exspiration weder Dämpfe noch Gase aus der Bauchhöhle in die Gewebe geschafft werden und die Lymphgefässe aus ihrer Umgebung erhebliche Menge von Wasserdampf und Gas aufnehmen. Mit diesem Wasserdampf wird der lymphleere Raum vollständig gesättigt, welcher infolge der vorangegangenen Abgabe von Lymphe an die Venen (s. I. Teil S. 4) und Bauchhöhle in dem Lymphgefässsystem entstanden ist.

Da nun diese lymphleeren Räume der Lymphgänge mit Wasserdampf gesättigt sind, und da dieselben nachweisbar während der Inspiration durch den gesteigerten Gewebedruck etwa um 50 % verkleinert werden, so muss sich gesetzmässig bei jeder Inspiration etwa die Hälfte des in der Lymphbahn befindlichen Dampfes zu Lymphflüssigkeit umwandeln. Diese Lymphflüssigkeit absorbiert rasch die in die Lymphbahn eingedrungenen Gase und Grundstoffe, welche hier unter dem Einfluss der physiologischen Elektricität der durch das Gesetz der Affinität bedingten Veränderungen erliegen.

*) Arch. für exper. Path. u. Pharm., XXXII. B., S. 124.

Die Bedingungen, unter welchen die Umwandelung der Dämpfe in den Venen zu Flüssigkeit und die Bildung der Blutkörperchen vor sich gehen (s. S. 95), sind in der Lymphbahn auch erfüllt; folglich steht es fest, dass in den Lymphgefässen, wie in den Blutgefässen dasselbe Naturgesetz unabänderlich waltet und zu ähnlichen Erscheinungen führt. Hiernach erklärt sich auch die Bildung der Lymphkörperchen.

Fasst man die einzelnen Momente zusammen, welche sich auf die Einnahmen der Lymphgefässe an gas- und dampfförmigen Substanzen beziehen, und berücksichtigt man den Vorgang in den Lymphgefässen, welcher die Verdichtung der in den Lymphgefässen befindlichen Dämpfe und Gase vermittelt, so kommt man jedenfalls zu folgendem Schlusse:

Die Lymphgefässe geben an die Peritonealhöhle während der Exspiration eine bestimmte Lymphmenge ab und nehmen dafür aus ihrer Umgebung die für ihre Zwecke brauchbaren Substanzen in Dampf- und Gasform auf, um dieselben zu tropfbarer Lymphflüssigkeit zu verdichten.

### 4. Umwandelung von dampf- und gasförmigen Nährungssubstanzen zu Parenchymflüssigkeiten.

In dem Parenchym von Organen befinden sich Wasserdämpfe, Grundstoffe und Gasmoleküle, deren Ansammlung gleichen Schritt mit der Verdauung hält. Der Grundversuch, dem diese Erfahrung entnommen wurde, ist im vorhergehenden Kapitel angeführt (s. S. 91). Infolge dieser Ansammlung steigt natürlich der Druck in dem zwischen den Zellen der Gewebe befindlichen Raume, welcher sich auf Kosten der Volumzunahme der gesättigten Zellen der Gewebe erheblich verkleinern kann.

Der Wasserdampf, mit welchem die Parenchymräume gesättigt sind, wird also durch Quellung der Zellen der Gewebe auf einen kleineren Raum beschränkt und dabei zum Teil wieder in Wasser verwandelt, weil dieser kleinere Parenchymraum, wenn er z. B. nur halb so gross ist als der vorige, im Zustande der Sättigung auch nur halb so viel Dampf aufnimmt. Dieses Wasser absorbiert erhebliche Mengen von gasförmigen Körpern aus seiner Umgebung. Zu diesen gehören die chemischen Bestandteile des Ernährungsmateriales, unter welchen hier Schwefeldampf, Ferrimoleküle und Jonen des Natriums hervorzuheben sind. Die Ferrimoleküle und die Jonen des Natriums gehen mit dem Schwefel eine eigentümliche Verbindung ein.

Die eigentümliche Verbindung von Schwefeleisen und Schwefelnatrium zeigt im hohen Grade die Fähigkeit, in statu nascenti die bei der Sodafabrikation entstandenen Lauge ziegelrot zu färben. Daraus ergiebt sich aber die Möglichkeit, dass die rote Färbung der Parenchymflüssigkeit durch die in derselben entstandenen

Verbindung von Schwefeleisen und Schwefelnatrium entstehen kann. Diese Ansicht lässt sich noch dadurch stützen, dass man bei den Wirbellosen die Farbe der Parenchymflüssigkeit willkürlich durch geeignete als Nahrung dargereichte Metallpräparate ändern kann.

Übrigens scheint die Wirksamkeit des per os dargereichten Eisens, wovon ein erheblicher Teil in Form von Schwefeleisen mit dem Kothe entfernt wird, speziell bei Fällen von Chlorose eine derart gut fundierte klinische Thatsache zu sein, dass das Ausstehen einer Erklärung für dieselbe an ihrer Richtigkeit nichts zu ändern vermag. Die diesbezügliche Aufklärung lässt sich jedenfalls durch die Erkenntnis anstreben, dass die dem Körper einverleibten Mineralstoffe: S. Na. Fe. etc. von der Parenchymflüssigkeit in bestimmtem Mengenverhältnis absorbiert werden und in dieser Flüssigkeit eigentümliche Verbindungen von Schwefeleisen, Schwefelnatrium eingehen können, durch welche die blutrote Färbung der Nährflüssigkeiten sowohl in den verschiedenen Geweben als auch in der Blutbahn zu Stande kommen kann. Inwieweit thermische und elektrische Zustände hierbei im Spiele sind, soll untersucht werden, nachdem wir das Wesen der Elektricität und seinen Übergang in den thermischen Zustand klargestellt haben.

Die Erfahrungsthatsachen, welche sich auf die Verwertung des Ernährungsmateriales im tierischen Haushalte beziehen, sprechen jedenfalls dafür, dass das Ernährungsmaterial auf dem Wege durch die Gewebe zum Teil von den Zellen der Gewebe aufgenommen und zur Erhaltung und Entwickelung der Gewebe verwendet, zum Teil durch die Venen aufgesaugt und in denselben zu tropfbarer Blutflüssigkeit umgewandelt, zum Teil durch die Lymphgefässe und Drüsen imbibiert und zur Regenerierung der Lymphe verwendet wird, während der Überschuss der Nährstoffe in den zwischen den sich kreuzenden Bindegewebszügen verbreiteten Spaltenräumen aufgespeichert und dort zu tropfbarer Flüssigkeit und zu Körperfett umgewandelt wird.

Fünftes Kapitel.

# Stoffverkehr zwischen dem Verdauungskanal, der Peritonealhöhle, den Geweben und dem Lymph- und Blutgefässsystem vor und während, bezw. nach der Verdauung.

Der Verlauf des Stoffverkehrs zwischen dem Verdauungskanal, der Peritonealhöhle, den Geweben und dem Lymph- und Blutgefässsystem ist an bestimmte Bedingungen geknüpft, die man in allgemeine und spezielle Bedingungen scheiden kann. Zu den ersteren gehört:

1. eine normale Funktion des Verdauungsapparates, die ihrerseits von der Quantität und Qualität der aufgenommenen Nährstoffe abhängt. Führt man dem Verdauungskanal Eiweisse, Kohlenhydrate, Fette, Mineralstoffe und Wasser zu, so werden dieselben hier in gerade fortschreitender Richtung durch die physiologische Elektricität allmählich in ihre chemischen Bestandteile zerlegt (s. S. 61).

Aus dem Verdauungskanal treten die chemischen Bestandteile der Nahrung in die Peritonealhöhle über, indem sie in Dampf- und Gasform vermöge ihrer hohen Spannung durch die Poren der Magen- und Darmwände hindurchtreten (s. S. 74). Der Übertritt findet nur während des durch die Zwerchfellhebung verursachten Sinkens des abdominellen Druckes statt, weshalb nur eine ganz bestimmte Menge von Grundstoffen bei jeder Exspiration aus dem Verdauungsapparat in die Peritonealhöhle gelangen kann.

Die Zellen der Körpergewebe beziehen auf dem kürzesten Wege portionsweise aus der Peritonealhöhle die für ihre Zwecke brauchbaren Stoffe; nämlich die Kapillaren nehmen unter dem Einflusse der Druckdifferenz, die zwischen dem Körpergewebe und der Peritonealhöhle bei jeder Inspiration entsteht, das Ernährungsmaterial von der Peritonealhöhle in Dampf- und Gasform auf und führen dasselbe direkt in die verschiedenen Gewebe (s. S. 90). Dieses Ernährungsmaterial wird zum Teil von den Zellen der Gewebe verbraucht (s. S. 92), zum Teil von den Venen absorbiert (s. S. 94), zum Teil in die Lymphbahn aufgenommen (s. S. 96), zum Teil

im Gewebe zu Parenchymflüssigkeit umgewandelt (s. S. 98), zum Teil in Dampfform durch die Ausdünstung des Körpers ausgeschieden, während der Rest sich in den Spaltenräumen der Gewebe aufspeichert, um nach vollendeter Verdauung als Reservenährvorrat verbraucht zu werden.

Die Peritonealhöhle giebt also während der Verdauung bei jeder Inspiration an die Gewebe eine bestimmte Stoffmenge in Dampfform ab, von welcher die Gewebe nur einen Teil für sich behalten und den anderen Teil an die Blut- und Lymphgefässe abgeben, dafür bekommt die Peritonealhöhle bei darauffolgender Exspiration eine äquivalente Stoffmenge, und zwar vom Verdauungsapparat Wasserdampf und chemische Bestandteile der Nahrung (s. S. 84), von den in der Bauchhöhle freiliegenden Arterien leicht diffusible Blutbestandteile (s. S. 85) und von den mit der Bauchhöhle kommunizierenden Lymphgängen eine kleine Portion Lymphe (s. S. 96).

In der Peritonealhöhle gehen die chemischen Bestandteile der Nahrung zum Teil mit den Lymph- und Blutbestandteilen chemische Verbindungen ein (s. S. 86). Es werden hierbei die Bestandteile der Pflanzen- oder Fleischkost dahin modifiziert, dass sie zur Entwickelung und Erhaltung der Lebenskräfte des menschlichen Körpers verwendet werden können.

Da nun in die Peritonealhöhle bei jeder Exspiration während der Verdauung aus dem Verdauungskanal und den Lymph- und Blutgefässen eine bestimmte Stoffmenge eindringt, welche die Bauchhöhle in verändertem Zustande bei der nächsten Inspiration wieder an die Kapillaren, Gewebe etc. abgiebt, um andere Substanzen aus denselben Organen bei der darauffolgenden Exspiration von neuem aufzunehmen, so ist damit ein intermittierender Stoffverkehr zwischen der Peritonealhöhle, dem Verdauungskanal, den Lymph- und Blutgefässen und Kapillaren deutlich gekennzeichnet, welcher mit der vorgeschriebenen Verdauung in seinem Verlauf modifiziert wird.

Die Modifikation des Stoffverkehrs ist abhängig:

2. von einer zweckmässigen Verminderung der Stoffabgaben des Verdauungskanales an die Peritonealhöhle, die ihrerseits bedingt ist durch die fortgeschrittene Verdauung; die Stoffabgaben des Verdauungskanales erreichen in den ersten Verdauungsstunden ihr Maximum, und sobald sie dieses Maximum erreicht haben, beginnt die Spannung der Magen- und Darmingesta allmählich zu sinken, und dementsprechend vermindern sich die Abgaben des Magens und Darmes an gasförmigen Substanzen.

Da nun während der letzten Verdauungsphase die Peritonealhöhle vom Magen und Darm nicht so grosse Portionen Gas wie in den ersten Verdauungsstunden bei jeder Exspiration bekommt, so kann die Peritonealhöhle dafür grössere Portionen Lymphe (s. S. 96) aufnehmen, um das Defizit zu decken. Die Lymphe ist sehr reich

an Gasen, und nachdem eine grössere Portion Lymphe in die Peritonealhöhle während der Exspiration eingedrungen ist, werden hier die Lymphgase unter dem Einfluss des abnehmenden Druckes aus ihrer früheren lockeren Verbindung frei und gehen sofort mit den in der Peritonealhöhle befindlichen chemischen Bestandteilen der Nahrung neue organische Verbindungen ein, um brauchbares Ernährungsmaterial für die Körpergewebe innerhalb der Peritonealhöhle zu bereiten.

Dieses Ernährungsmaterial giebt die Peritonealhöhle bei nächster Inspiration an die Gewebe ab, von dem ein Teil von den Lymph- und Blutgefässen aufgenommen und zur Regenerierung der Lymphe und des Blutes verwendet wird, während der andere Teil von den Zellen der Gewebe imbibiert und bis auf einen Rest verbraucht wird; dafür bekommt die Peritonealhöhle bei darauffolgender Exspiration von drei Organen eine äquivalente Stoffmenge. Zu diesen Organen gehören: a) der Verdauungsapparat, welcher der Peritonealhöhle rohes Material und tierische Elektricität liefert; b) die Lymphgefässe, welche im Peritoneum enden (s. S. 97) und je nach Bedarf Lymphe an die Peritonealhöhle abgeben; c) die im Peritonealraume freiliegenden Arterien, deren Exsudate (s. S. 85) die Peritonealhöhle aufnimmt. Diese Organe liefern also der Peritonealhöhle Kräfte und Stoffe, welche in denselben durch mechanische und elektrochemische Aktion erzeugt worden sind, und sorgen demnach gemeinschaftlich dafür, dass die Peritonealhöhle bei jeder Exspiration eine bestimmte Summe von Kraft und Nährstoff bekommt.

Also: die durch die fortgeschrittene Verdauung bedingten Modifikationen des Stoffverkehrs zwischen der Peritonealhöhle, dem Verdauungskanal, den Blut- und Lymphgefässen bestehen darin, dass der Verdauungskanal bei der Exspiration in der ersten Verdauungsphase eine erhebliche Kraftsumme und Stoffmenge, dagegen während der letzten Verdauungsphase nur eine geringe Kraftsumme und Stoffmenge an die Peritonealhöhle abgiebt, indes die Lymphgefässe, welche in der ersten Verdauungsphase bei jeder Exspiration nur eine kleine Portion Lymphe an die Peritonealhöhle abgegeben hatten, sowie die im Peritonealraum liegenden Arterien in den letzten Verdauungsstunden ihre früheren Abgaben bedeutend erhöhen müssen.

Die Modifikation des Stoffverkehrs ist ferner abhängig:

3. von der Minderung des Magen- und Dünndarmdruckes, die ihrerseits bedingt ist durch die vollendete Verdauung; nach vollendeter Verdauung stellt sich während der Exspiration im Verdauungsapparat ein Druck von 2 mm ein (s. S. 39) und der Druck in der Peritonealhöhle sinkt zu gleicher Zeit auf 2 mm; also ist ein und derselbe Druckwert i mVerdauungskanal und der Peritonealhöhle, und folglich wird ein Übertritt der leicht diffusiblen Darmgase, Wasserdämpfe etc. in die Peritonealhöhle nicht stattfinden können.

Während der Verdauung speichert sich eine erhebliche Menge von Ernährungsmaterial in den verschiedenen Geweben an (s. S. 98), infolge dessen steigt der Gewebe- und Kapillardruck auf sein Maximum. Unter dem Einflusse des höheren Kapillardruckes treten grössere Stoffmengen aus dem Gewebe in die Lymphbahn über (s. S. 96), welche schon in den ersten Verdauungsstunden mit Lymphe strotzend gefüllt erscheint. Je grössere Portion Lymphe die Lymphgefässe, welche im Peritoneum enden, bei der Exspiration an die Peritonealhöhle abgeben, desto grössere Menge von dem in den Geweben aufgespeicherten Reservenährvorrat nimmt das Lymphgefässsystem auf.

Jede einzelne Portion Lymphe verändert sich in der Peritonealhöhle dahin, dass unter dem Einflusse der Druckabnahme in der Peritonealhöhle die Lymphflüssigkeit verdunstet und die Lymphgase aus ihrer lockeren Verbindung frei werden. Diese Dämpfe und freien Elemente der Lymphe und die Blutbestandteile, welche aus den im Peritonealraume freiliegenden Arterien (s. S. 95) exsudierten, repräsentieren eine Summe von Ernährungsmaterial, welche bei der Inspiration aus der Peritonealhöhle zum grossen Teil durch die Kapillaren in die verschiedenen Gewebe geschafft und hier im Verlaufe der darauffolgenden Exspiration zur Erhaltung und Ernährung der verschiedenen Organe verwendet wird; zum anderen Teil durch die porösen Wände des Magens und Darmes hindurchtritt und als Sekret der Magen- und Darmschleimhaut zum Vorschein kommt.*)

Die Peritonealhöhle giebt also nach vollendeter Verdauung bei jeder Inspiration an den Verdauungskanal und die verschiedenen Gewebe eine bestimmte Stoffmenge in Dampfform ab. Dafür bekommt sie eine äquivalente Portion Lymphe und Blut (s. S. 84—96), welche sie in verändertem Zustande bei der nächsten Inspiration wiederum an die verschiedenen Organe abgiebt.

Diese Einnahmen und Ausgaben der Peritonealhöhle an Ernährungsmaterial gehen mit der Atmung im gleichen Schritte einher, so dass jede Zelle der Gewebe auch nach vollendeter Verdauung das für ihre Zwecke erforderliche Ernährungsmaterial bekommt.

Es soll hier kurz hervorgehoben werden, dass das aus den Lymphresten zubereitete Ernährungsmaterial sehr arm an Stickstoff ist, weil die Lymphe nur Spuren von Stickstoff enthält. Es wird also der Bedarf der Gewebezellen an Stickstoff dadurch gedeckt, dass sie nach vollendeter Verdauung den Stickstoffgehalt der Reservenährstoffmenge verbrauchen, welche sich während der Verdauung in den Geweben aufgespeichert hatten (s. S. 90).

*) Man versteht leicht, dass sich auf diese Art und Weise die Sekrete der Magen- und Darmschleimhaut regenerieren können.

Hiernach besteht die Modifikation des Stoffverkehrs nach der vollendeten Verdauung darin, dass allein die im Peritonealraum freiliegenden Arterien und die im Peritoneum endenden Lymphgefässe während jeder Exspiration der Peritonealhöhle eine bestimmte Kraftsumme und Stoffmenge liefern und dass die Peritonealhöhle ihren Inhalt bei der Inspiration nicht allein an die Gewebe, sondern auch an den Verdauungsapparat abgiebt. Durch diese Modifikation des Stoffverkehrs ist der normale Gang der Gewebeernährung nicht im geringsten gestört, weil die Zellen der Gewebe bei jeder Inspiration von der Peritonealhöhle die für ihre Zwecke brauchbaren Stoffe, ausgenommen Stickstoff, beziehen und ihren Bedarf an Stickstoff den im Gewebe aufgespeicherten Reservenährstoffen (s. S. 91) entnehmen. Diese Reservenährstoffe können, nachdem ihr Stickstoffgehalt von den umliegenden Geweben und Venen konsumiert worden ist, zu Körperfett umgewandelt werden, wenn rechtzeitig für reichliche Nahrungsaufnahme gesorgt ist.

Die Modifikation des Stoffverkehrs ist schliesslich abhängig:

4. von der Ermüdung der Zellen der Gewebe, die ihrerseits durch die Sättigung der Zellen bedingt ist. Die Zellen der Gewebe ermüden, wenn in denselben sämtliche, nicht zum Zusammenhange der Kohlenstoffatomkette notwendigen Jonen durch andere Elementaratome ersetzt sind. Während der Ermüdung vollziehen sich in den Zellen der Gewebe elektrosynthetische Prozesse, deren Wert und Dauer von dem Werte des intracellularen Druckes, der Elasticität der Gewebe und von der Körperwärme abhängt. Auf die Einzelheiten dieses Vorgangs, welcher in den Zellen die Assimilation der Nährstoffe zu Körperbestandteilen und die Kräftigung und Entwickelung des Körpers vermittelt, können wir jetzt nicht weiter eingehen.

Die Einnahme der Zellen der Gewebe an Nährsubstanzen während ihrer Ermüdung ist gleich Null; das Ernährungsmaterial, welches in dieser Zeit die Peritonealhöhle vom Verdauungskanal und von den Lymph- und Blutgefässen (s. S. 67—84) während jeder Exspiration bekommt, giebt die Peritonealhöhle wiederum bei nächster Inspiration im veränderten Zustande an die Kapillaren ab. Von hier tritt es zum Teil in die Lymphgefässe und Venen über, zum Teil verlässt es durch die Haut in Dampfform den Körper, zum Teil diffundiert es in die Spaltenräume der Bindegewebe.

Während der Ermüdung sinken die Einnahmen und Ausgaben der Peritonealhöhle an Substanzen auf Minimum, weil der Wert der respiratorischen Druckschwankungen in der Peritonealhöhle sein Minimum im Gefolge der Ermüdung erreicht.

Es besteht also die durch die Sättigung der Zellen der Gewebe bedingten Modifikation des Stoffverkehrs darin: 1. dass die Einnahmen und Abgaben der Peritonealhöhle an Substanz infolge der Verkleinerung der abdominellen Druckschwankungen während der Ermüdung ad minimum sinken; 2. dass die durch die

Peritonealhöhle an die Gewebe ausgeteilten Substanzen nicht von den gesättigten Zellen aufgenommen und verbraucht werden, und 3. dass der Stoffverkehr in seinen verschiedenen Abschnitten sehr langsam vor sich geht, was den Ansatz von Körperfett ausserordentlich begünstigt.

Zu den speziellen Bedingungen, unter denen der Stoffverkehr zwischen dem Verdauungskanal, der Peritonealhöhle, den Geweben und Lymph- und Blutgefässen verändert wird, gehört:

1. die Erkrankung der Verdauungsorgane, der Lymphdrüsen etc. etc., worüber das Nähere an anderer Stelle;

2. der akute Hunger; der Magen fordert Nahrung, wenn die Lymphreste zum grössten Teil verbraucht sind. Wird nach dem Verbrauch der Lymphreste dem Magen keine Nahrung zugeführt, so sinkt der Druck in demselben, wie diesbezügliche Messungen lehren, bei jeder Exspiration ca. 2 mm unter den atmosphärischen. Es entsteht also während der Exspiration im Magen ein Saugraum, in welchen ein Teil der „Exspirationsluft“ eintritt. Durch die Exspirationsluft, welche behufs Speisung des hungernden Magens aus dem Kehlkopf direkt in den neben ihm angeordneten Schlundkopf übertritt, wird der Magendruck und die Temperatur gesteigert. Die Kohlensäurespannung der Exspirationsluft beträgt beim ruhigen Atmen 2—3 mm Quecksilber, diese Spannung wird nach dem hungernden Magen übertragen; der Druck in der Peritonealhöhle sinkt im Hunger bei jeder Exspiration etwa 1–2 mm unter den atmosphärischen, also übertrifft der Magendruck während der Exspiration den der Peritonealhöhle um ca. 3 mm Hg., folglich wird ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher den Wasserdampf, Sauerstoff und Stickstoff der Exspirationsluft in Atomenzustand aus dem Verdauungskanal nach der Peritonealhöhle schaffen muss.

Im Hunger entsteht ausserdem bei jeder Exspiration zwischen der Peritonealhöhle und den Körpergeweben eine Druckdifferenz. Es herrscht nämlich jetzt in der Peritonealhöhle ein negativer Druck, während die flüchtigen Substanzen der Gewebe unter einem positiven Drucke stehen. Die flüchtigen Substanzen der Gewebe geraten unter dem Einflusse dieser Druckdifferenzen in Bewegung und strömen von den Punkten höheren Druckes (Gewebe) zu den Punkten niederen Druckes (Peritonealhöhle) auf dem kürzesten Wege, den die Kapillaren bilden.

Durch diese Bewegung wird Elektricität in den Geweben erregt, welche eine bestimmte Fettmenge zersetzt d. h. in den Jonenzustand überführt. Die chemischen Bestandteile der Fette gelangen alsdann unter dem Einflusse der vorerwähnten Druckdifferenz in die Peritonealhöhle, hier kommen sie mit dem Stickstoff, Sauerstoff und Wasserdampf in Berührung, die zur gleichen Zeit aus dem Verdauungskanal (s. oben) in die Bauchhöhle gekommen waren; zu diesem Körper gesellen sich

noch die Blutbestandteile, welche aus den in der Peritonealhöhle frei liegenden Arterien exsudierten (s. S. 85). Diese Stoffe, nachdem sie in der Peritonealhöhle zu Eiweissmolekülen etc. umgesetzt worden sind, repräsentieren eine Menge von brauchbarem Ernährungsmaterial, welches bei der nächsten Inspiration aus der Peritonealhöhle zum grössten Teil durch die Kapillaren in die Gewebe geschafft und zur Speisung der Zellen der verschiedenen Gewebe und der Lymphe und Blutgefässe verwendet wird, zum andern Teil durch die porösen Wände des Verdauungskanals hindurchtritt, um die Funktion des Verdauungsapparates, die Kotbildung im Hunger zu ermöglichen.

Die durch den akuten Hunger bedingte Veränderung des Stoffverkehrs ist dadurch gekennzeichnet, dass die Peritonealhöhle im akuten Hunger anstatt der chemischen Bestandteile der Nahrung vom Verdauungskanal die Grundstoffe der Exspirationsluft und von den Geweben die Bestandteile der Körperfette portionsweise bekommt, um daraus Eiweiss und Glycogenmoleküle zu bereiten.

Durch diese Veränderung wird der normale Gang der Ernährung nicht sistiert, sondern nur abgeschwächt, weil die Einnahmen und Ausgaben der Peritonealhöhle an Substanzen während der Verdauung ihr Maximum und im akuten Hunger ihr Minimum erreichen.

Die Einnahmen und Ausgaben der Peritonealhöhle an Ernährungsmaterial gehen auch im Hunger, so lange nicht das Körperfett verbraucht ist, mit der Atmung gleichen Schritt einher, sodass jede Zelle der Gewebe auch im akuten Hunger das für ihren Lebensunterhalt nötige Material in Gasform regelmässig bekommt.

Also: wie die Thätigkeit der Lunge von der Inspirationsluft abhängt, durch die eine Summe von Kräfte und Stoffe (atmosphärische Elektricität, Stickstoff, Sauerstoff) in bestimmten Intervallen in die Lunge eingeführt wird, ebenso hängt die Thätigkeit der lebenden Zellen der Gewebe von der respiratorischen Kraft- und Stoffzufuhr ab, ein physiologischer Vorgang, der als Gewebeatmung bezeichnet werden kann.

Das charakteristische bei den Organen, welche sowohl im Hunger als auch während der Verdauung Kraft und Stoff der Peritonealhöhle liefern, ist ihre zweckmässige Anordnung, durch welche ohne besonderes Zuthun der Stoffverkehr unter dem Einfluss der respiratorischen, abdominellen Druckschwankungen zu stande kommt.

Man erkennt leicht, dass der beschriebene Stoffverkehr durch die Funktion der Peritonealhöhle unterhalten wird.

Die Funktion der Peritonealhöhle war früher so gut wie gar nicht bekannt; sie hängt aber, wie aus folgendem ersichtlich ist, von den Atembewegungen ab.

In der Peritonealhöhle bildet sich während der Zwerchfellhebung ein Saugraum, in welchem eine bestimmte Kraftsumme und Stoffmenge sowohl im akuten Hunger, als während, vor bezw. nach der Verdauung geschaffen wird; umgekehrt geschieht dies während Zwerchfellabflachung; nämlich infolge der Zwerchfellabflachung steigt der abdominelle Druck über den Kapillardruck, und die Stoffmengen, welche in der Peritonealhöhle zu brauchbarem Ernährungsmaterial umgewandelt wurden, treten von hier unter dem Einflusse dieser Druckdifferenz in die Kapillaren über, aus welchen sie in die umliegenden Gewebe diffundieren, um eine Verwendung im tierischen Haushalt zu finden.

Der natürliche Gang der Ernährung der verschiedenen Organe wird durch die Atembewegungen reguliert. In wieweit sich der Atmungsapparat an diesen Stoffverkehr beteiligt, ist aus dem IV. Abschnitt zu ersehen.

## Sechstes Kapitel.

# Anhang.

Wir haben in diesem Abschnitte die chemischen Bestandteile der Nahrung von ihrem Eintritt in die Peritonealhöhle bis zu ihrem Übertritt in die lebenden Zellen der Gewebe, in die Venen und in die Lymphgefässe verfolgt, und klargestellt, dass ein intermittierender Stoffverkehr zwischen dem Digestionskanal, der Peritonealhöhle, den Geweben und dem Lymph- und Blutgefässsystem besteht, welcher sich während und nach der Verdauung, sowie im Hunger in seinen verschiedenen Abschnitten verändert.

Ferner haben wir die Funktion der verschiedenen Organe im Einzelnen und im Zusammenhange kennen gelernt.

In jedem einzelnen Organe des menschlichen Körpers lassen sich, sowohl bei jedem Atemzuge, als auch in den verschiedenen physiologischen Zuständen Veränderungen des physiologischen und elektrochemischen Geschehens unterscheiden.

So z. B. nimmt der Magen im Hunger die Exspirationsluft (s. S. 105) auf und giebt ihre Bestandteile (Stickstoff, Sauerstoff, Wasserdampf) wieder an die Peritonealhöhle ab; führt man dem hungernden Magen aber Speisen und Getränke zu, so giebt er, nachdem dieselben durch die physiologische Elektricität in dem Digestionskanal in ihre chemischen Bestandteile zerlegt wurden, die chemischen Bestandteile der Nahrung und die im Magen gebildeten Wasserdämpfe an die Peritonealhöhle portionsweise ab.

Über die Funktion der Peritonealhöhle sind wir genau unterrichtet worden; von welcher Bedeutung dieselbe für die Ernährung der verschiedenen Gewebe ist, kann man leicht aus folgendem ersehen.

In der Peritonealhöhle bildet sich während der Exspiration ein Saugraum, in welchen während der Verdauung die chemischen Bestandteile der Nahrungsmittel (s. S. 66), die flüchtigen Exsudate der im Bauchraum freiliegenden Arterien (s. S. 85) und eine Portion Lymphe (s. S. 96) eingetrieben und in welchem dieselben zu brauch-

barem Nahrungsmaterial umgewandelt werden, und da der abdominale Druck bei der Inspiration infolge der Zwerchfellabflachung über den Kapillar- und Gewebedruck steigt, so treibt er natürlich die dampf- und gasförmigen Nährstoffe aus der Peritonealhöhle durch die Kapillaren in die Gewebe ein.

Man sieht leicht, worin sich diese neue Theorie, nach welcher nur während der Inspiration den Geweben eine bestimmte Summe von Kraft und Stoff aus der Peritonealhöhle durch die Kapillaren auf dem kürzesten Wege zukommt, von der alten Theorie unterscheidet, der zufolge die Nährsubstanzen 1. durch die Chylusgefässe oder die V. porta; 2. durch den Ductus thoracicus; 3. durch die Hauptvenenstämme; 4. durch den rechten Vorhof; 5. durch die rechte Herzkammer; 6. durch die Lungenarterien; 7. durch die Lungenkapillaren; 8. durch die Lungenvenen; 9. durch den linken Vorhof; 10. durch die linke Herzkammer; 11. durch die Arterien strömen sollten, aus welchen man sie schliesslich in die Kapillaren übertreten liess, um an ihren Bestimmungsort zu gelangen.

Dieses starre Schema, in welches man die Vorgänge der Ernährung und des Stoffverkehrs, fast möchte man sagen, einem gewissen Utilitätsprinzip zuliebe bisher eingekleidet hatte, steht mit der Wirklichkeit in schroffem Widerspruch. Ganz abgesehen davon, dass wir jetzt die Thätigkeitsäusserungen der beteiligten Organe, vornämlich der Peritonealhöhle, genauer nach Art und Energie ihrer Wirkung übersehen können, war man seit jeher zu sehr geneigt, zur Unterscheidung der wahrscheinlicheren unter den vielen möglichen Hypothesen die Idee der Einfachheit der Natur zu benutzen, von der sowohl Galilei als Newton sich haben leiten lassen. Laplace sieht den Vorzug des Beharrungsgesetzes darin, dass es das natürlichste und einfachste sei, das man ausdenken könne; Fresnel erkennt den Vorzug seiner optischen Hypothese vor allem in ihrer Einfachheit, er sagt, die Natur scheine sich vorgestellt zu haben, viel mit Wenigem zu erreichen. Dies Prinzip ist durch den Fortschritt der modernen Physiologie der Ernährung bestätigt: denn die durch die moderne Forschung ermittelten Vorstellungen über die natürliche Ernährung der verschiedenen Organe ist einfach. Nämlich die aufgenommenen Nährstoffe, nachdem sie durch die physiologische Elektricität im Verdauungsapparat bearbeitet worden sind, gelangen von hier in Dampf- und Gasform in die Peritonealhöhle, aus welcher sie im veränderten Zustande infolge der bei jeder Inspiration zwischen der Bauchhöhle und den Geweben entstehenden Druckdifferenz durch die Kapillaren direkt in die verschiedenen Gewebe portionsweise geschafft werden.

Bei diesem Vorgange, welcher die Austeilung des brauchbaren Ernährungsmateriales an die Gewebe vermittelt, kommen also weder die Venen noch die Arterien in Betracht, weshalb Tiere, welchen sechs Hauptvenenstämme oder die Arteriae

bracchiales, femorales und carodites oder die Aorta abdominalis unterbunden wurden, störungslos leben und sogar nach der Operation in besseren Nährzustand übergehen können.

Was die Schicksale des Ernährungsmaterials jenseits des Digestionskanales anbetrifft, so bieten uns obige Erfahrungsthatsachen hinreichende Stütze dafür, dass das Ernährungsmaterial auf dem Wege durch die Gewebe zum Teil von den Zellen der Gewebe aufgenommen und zu Körpergeweben assimiliert, zum Teil durch die Venen aufgesaugt und in denselben zu tropfbarer Blutflüssigkeit umgewandelt, zum Teil durch Lymphgefässe und Drüsen absorbiert und zur Regenerierung der Lymphe verwendet wird, während der Überschuss der Nährstoffe in den, zwischen den sich kreuzenden Bindegewebszügen verbreiteten Spaltenräumen aufgespeichert und dort zu tropfbarer Parenchymflüssigkeit und zu Körperfett umgewandelt wird.

Wozu das Blut dient und in wie weit sich das Blut an der Ernährung und Entwickelung des Körpers beteiligt, darüber handelt der folgende IV. Abschnitt.

# Vierter Abschnitt.

## Fortschritt der Anatomie und Physiologie der Atmungsorgane und der Blutgefässe.

Der modernen Forschung verdanken wir jetzt eine Reihe gewichtiger Thatsachen, die zu einer wesentlich neuen Auffassung über das Verhalten des Blutes auf seinem Wege durch die Pulmonalarterie, sowie über die Entstehung des Arterienblutes geführt haben.

Bei sorgfältiger Prüfung der neu erforschten Thatsachen, welche sich auf den feineren Bau der Atmungsorgane beziehen, sind wir zu der Erkenntnis gekommen, dass die bisherige Theorie der Atmung in einigen Punkten der Wahrheit nicht entspricht. Dies gab uns gleichzeitig die Veranlassung zur Aufstellung einer neuen Lehre von der Lungenatmung, welche den neuesten Entdeckungen und älteren Beobachtungen Rechnung trägt.

Zu den neuesten Forschungsergebnissen gehört die hochinteressante Entdeckung, dass die feinen Arterien blind endigen und dass sich in den Arterien elektrochemische Prozesse abspielen, welche die Umprägung der Elemente des Blutes zu flüchtigen, für den Aufbau der Muskeln geeigneten Substanzen unmittelbar bewirken.

Vorstehender Abschnitt setzt sich aus sechs Kapiteln und einem Anhange zusammen, nämlich:

1. Untersuchungen über den topographischen Aufbau der Endbronchien und die Verteilung der Blutgefässe in Säugetierlungen.
2. Form und Lageveränderung der dünnwandigen Hohlorgane der Lunge beim Atmen.
3. Destruktion des Venenblutes und Bildung des Arterienblutes.
4. Die Lungenatmung.
5. Der Stoff- und Kraftwechsel im Herzen und die durch ihn bedingten Erscheinungen.
6. Die Arterien und der Stoffumsatz in denselben.

## Erstes Kapitel.

# Untersuchungen über den topographischen Aufbau der Endbronchien und die Verteilung der Blutgefässe in Säugetierlungen.

(Beitrag zur Anatomie der Lunge).

Unsere Kenntnisse über den Bau der Lunge waren bisher verhältnismässig oberflächliche. Die Bronchien, bezw. die Bronchioli respiratorii anteriores sollten an ihrem Ende in traubenförmige Gruppen von Bläschen übergehen, in deren feinen Wandungen sich ein dichtes Netz von Kapillargefässen der Lungenarterien, bezw. der Lungenvenen verzweigen soll.

Im Hinblick auf die neuesten Arbeiten einzelner Forscher, welche unsere Kenntnis über den Bau der Lunge erweiterten, dürfen wir uns wohl nicht verhehlen, dass die fortschreitende Entwickelung der Physiologie und mikroskopischen Anatomie hier wie überall mancher hergebrachten, bislang unangetasteten oder bereits mehr oder weniger erschütterten Anschauung gefährlich wird. Zu diesen Arbeiten gehören auch unsere Untersuchungen über den topographischen Aufbau der Luftwege und Blutgefässe der Lunge der verschiedenen Tiere.

Die hier in Anwendung kommenden Methoden waren: Aufblasen in verschiedenem Masse und Trocknen oder Korrodieren nach Injektionen mit ein- oder verschiedenfarbigen Massen und Modellieren nach der Bornschen Plattenmethode.

Unsere Befunde decken sich im grossen und ganzen mit den Angaben, die W. S. Müller im Journ. of Morphol. VIII 1. P., S. 165 veröffentlicht hat. Diese sind folgende:

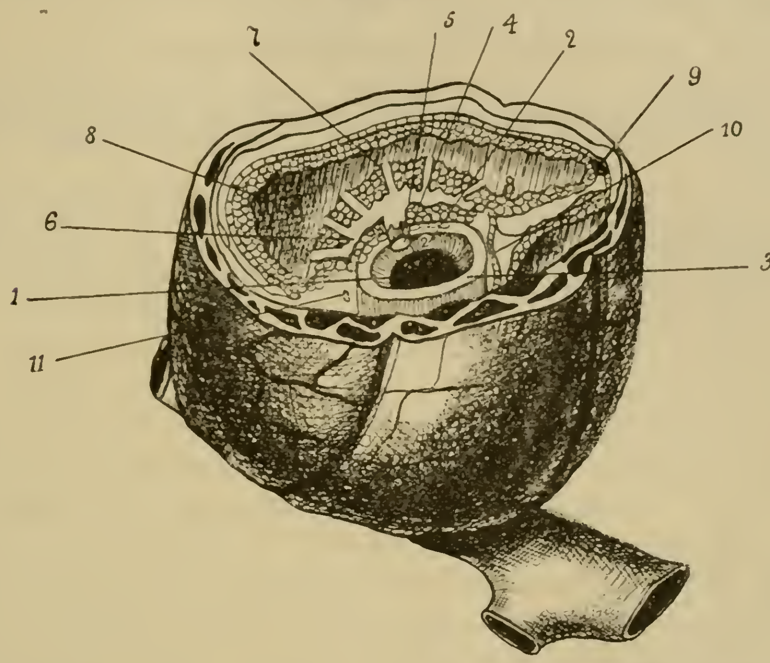
Jeder Endbronchus zeigt an seinem Ende eine keulenförmige Erweiterung: diese ist mit drei bis sechs rundlichen Öffnungen von ca. 0,2 mm Durchmesser versehen (Luftgänge, Vestibula). Jeder Luftgang enthält im Inneren einen Schliessmuskel (Luftgangklappe). Die Luftgänge führen in unregelmässige, etwas weitere Höhlen (Atrium, Alveolengang); erst diese letzteren stehen durch ca. 0,145 mm breite Öffnungen (air-sac-passage, Infundibula) mit den letzteren, sehr unregelmässig gestalteten Räumen (air-sac, Luftsäcke) in Verbindung, die an ihrer Peripherie die Alveolen

(air cell) tragen. Auch in der Wandung der Atrien und Endbronchien finden sich Alveolen, welche aber kleiner als jene sind, vor.

Für den Verlauf der Blutgefässe der Säugetierlunge ergab sich folgender Befund:

Die Pulmonalarterie verläuft dicht bei dem Bronchus, die Lungenvenen aber möglichst entfernt davon. Die Arterie spaltet sich in soviel Äste, als Atrien vor-

Fig. XVI.




Schema eines Endbronchus mit einzelnen Modifikationen nach W. S. Müller.

Figurenerklärung:

1. Öffnung des Endbronchus, von seiner keulenförmigen Enderweiterung im Querschnitt gesehen;
2. die keulenförmige Erweiterung des Endbronchus;
3. die Wand der keulenförmigen Erweiterung, im Querschnitt gesehen, in welcher sich kleine Alveolen befinden;
4. Luftgänge, welche vom Innern der vorerwähnten Erweiterung in die Atrien (6) führen;
5. Schliessmuskel der Luftgänge geschlossen;
6. Atrien, welche durch ca. 0.145 mm breite Öffnungen mit den Luftsäcken (8) in Verbindung stehen, und deren Wände kleine Alveolen tragen;
7. Luftsackgänge (Infundibula, air-sac-passage);
8. Luftsack (air-sac), welcher in seiner Peripherie Alveolen trägt;
9. Lungenvenen, deren Zweige an der peripheren Seite der Luftsäcke netzförmig ausgebreitet sind und einen integrierenden Bestandteil der Wände der Luftsäcke bilden;
10. Pulmonalarterie, deren Zweige an der zentralen Seite der Luftsäcke sich verbreiten und einen Ast an die Atrien abgeben;
11. Bronchialarterien.

handen sind, und auch jeder Luftsack (air-sac) erhält eine Arterie, die an seiner dem Zentrum des Endbronchus zugekehrten Seite liegt, während sich die feinsten Lungenvenen durchaus an der peripheren Seite finden.

Zwischen den feinen Venenenden breiten sich Venennetze aus, etwas mehr dicht unter der Pleura, etwas weniger tief in der Lunge.

Jeder Bronchus ist von zwei oder drei Bronchialarterien bis zum Endbronchus hin begleitet, sie anastomisieren nicht mit der Pulmonalarterie und stehen mit den kleinen kurzen Vv. bronchiales nicht in Verbindung.

Die glatten Muskelfasern, welche an den Luftgängen, also an der Grenze zwischen Endbronchien und Atrien aufhören, sammeln sich innerhalb der Luftgänge zu einem Muskelringe, welcher den Schliessmuskel der Luftgänge (Luftgangklappe) bildet.

Es wird klar sein, dass die vorstehende Figur XVI den Endbronchus im unregelmässigen Querschnitt darstellt; aus dieser Figur ist der Zusammenhang der einzelnen Organe und Räume, welche zu einem Endbronchus gehören, leicht zu erkennen.

## Zweites Kapitel.

# Form und Lageveränderung der dünnwandigen Hohlorgane der Lunge beim Atmen.

Durch die Untersuchungen der Lungen verschiedener Tiere haben wir erfahren, in welchem Grade sich die Form und Lage der in der Lunge befindlichen Hohlorgane durch die Atembewegungen verändert.

Unsere Methoden waren: Einführung der zu untersuchenden Lungen in einen künstlich hergestellten Brustkorb, womit die Lunge entweder in tiefster Exspirationsstellung oder in höchster Inspirationsstellung fixiert wurde, — Aufblasen und Trocknen oder Korrodieren nach Injektion mit ein- oder verschiedenfarbigen Massen, deren Verbrauch quantitativ bestimmt wurde, — Modellieren nach der Bornschen Plattenmethode.

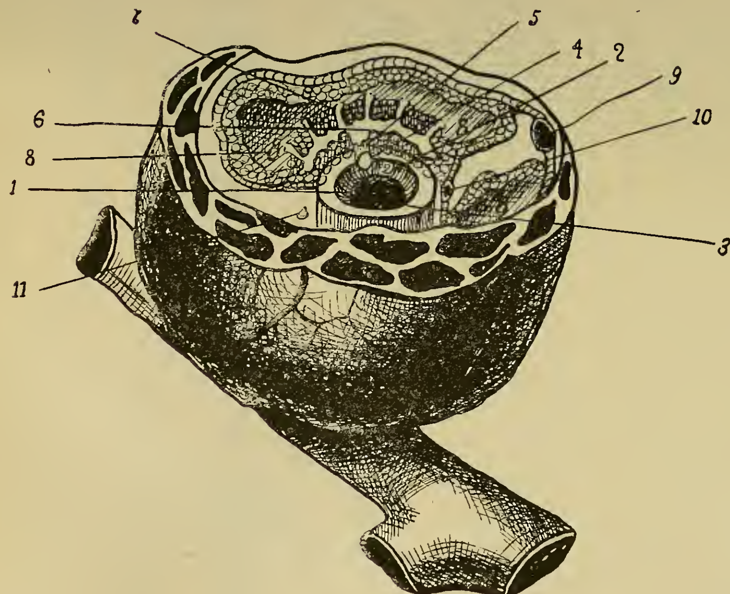
Die Präparate von der kollabierten Säugetierlunge gaben uns eine sichere Auskunft darüber, wie sich am Ende der Exspiration die Atrien, die Luftsäcke, die Alveolen, die feinen Lungenarterien und Venen verhalten.

Zur Veranschaulichung des Befundes, welcher sich für die Blutwege und Lufträume der Säugetierlunge ergab, führen wir umstehende Fig. XVII und XVIII an.

Bei Vergleichung derselben bemerkt man, dass die feineren Pulmonalarterien und Lungenvenen, sowie die Atrien, Luftsäcke und Alveolen ihre Form und Lage infolge der Erweiterung, bezw. Zusammenziehung der Lunge wesentlich verändern. In der kollabierten Lunge sind nämlich die feineren Pulmonalarterien und Lungenvenen so erweitert, dass die Injektionsmasse in dieselben eingedrungen war, während sie in der aufgeblasenen Lunge etwas lang gedehnt und völlig zusammengepresst erscheinen; dass die Lufträume (Alveolen, Atrien, Luftsäcke) mit der Kollabierung der Lunge verkleinert und mit der Aufblähung derselben vergrössert werden, ist allgemein bekannt.

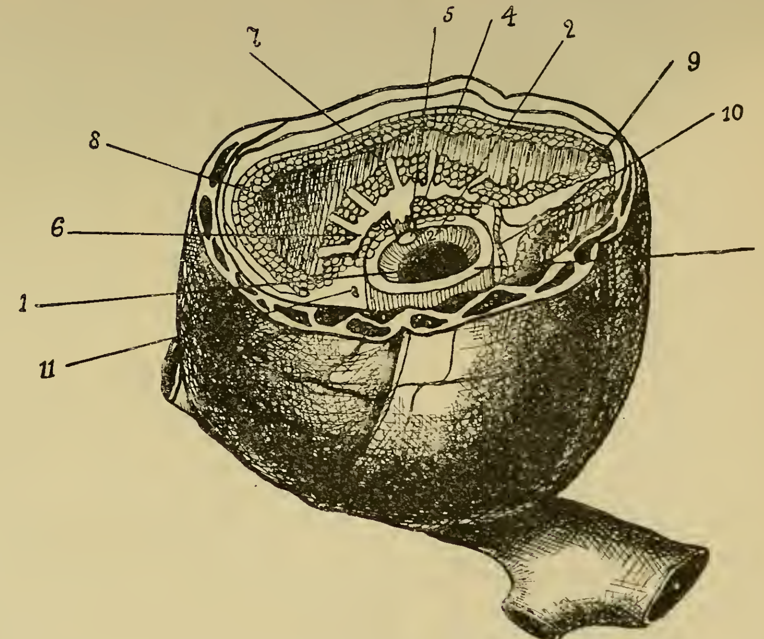
Obige Erfahrung lässt sich in kurzem durch folgenden Satz ausdrücken: Die feineren Pulmonalarterien und die Lungenvenen befinden sich am Ende jeder tiefen Inspiration, also im Moment der maximalen Ausdehnung der Lufträume (Alveolen, Atrien, Luftsäcke) etwas geradlinig ausgestreckt und vollständig zusammengepresst, während sie am Ende jeder tiefen Exspiration, also im Moment der maximalen Zusammenziehung der Lunge vollständig erweitert und wellenförmig gekrümmt erscheinen.

Fig. XVII.




Schema eines kollabierten Endbronchus, im Querschnitt gesehen.

Fig. XVIII.




Schema eines aufgeblasenen Endbronchus, im Querschnitt gesehen.

Figurenerklärung:

1. Öffnung des Endbronchus;
2. die keulenförmige Erweiterung des Endbronchus;
3. die Wand der keulenförmigen Erweiterung im unregelmässigen Querschnitt gesehen;
4. Luftgänge;
5 Schliessmuskel der Luftgänge;
6. Atrien;
7. Luftsackgänge (Infundibula);
8. Luftsack;
9. Lungenvenen;
10. Pulmonalarterien;
11. Bronchialarterie.

Drittes Kapitel.

# Destruktion des Venenblutes und Bildung des Arterienblutes.

Die alte Theorie, nach welcher das venöse Blut in tropfbar-flüssigem Aggregat kontinuierlich durch die Lungengefässe strömen und ausschliesslich in den Lungenkapillaren Kohlensäure abgeben und dafür Sauerstoff aufnehmen sollte, war dem Schema vom Blutkreislauf so gut angepasst, dass ein Zweifel an ihrer Richtigkeit bisher nicht aufkam.

Wir wollen versuchen, gerade an zwei in ihrem gesetzmässigen Verlaufe besterwiesenen Vorgängen, die sich den obigen Theorien nicht unterordnen, die Unrichtigkeit derselben zu zeigen:

1. an der Umwandelung des venösen Blutes zu flüchtigen Naturprodukten;
2. an der Bereitung des arteriellen Blutes aus flüchtigen Substanzen.

## § 1. Umwandelung des Venenblutes in der Pulmonalarterie zu flüchtigen Naturprodukten.

Das Blut, welches in den rechten Vorhof eintritt, besteht aus einer grossen Anzahl Ströme, die, von verschiedenen Teilen des Körpers herkommend, sehr verschiedene spezifische Schwere, Blutkörperchenzahl und Temperaturgrade besitzen. Diese heterogene Blutmasse wird in der Lungenarterie zu flüchtigen Naturprodukten umgewandelt. Diese Umwandelung setzt sich aus einem elektrochemischen und einem mechanischen Akte zusammen, weshalb man von Elektrochemie und Mechanik der Umwandelung des Venenblutes sprechen kann.

Die Elektrochemie der Umwandelung des Venenblutes behandelt den Vorgang der Überführung von tropfbarflüssigen Blutmassen in den gas- und dampfförmigen Zustand. Die mechanischen Vorgänge bestehen darin, dass das Lumen der Pulmonalarterie in bestimmter Reihenfolge verengert und erweitert, in die Pulmonalarterie Blut des rechten Herzens geschafft und der Inhalt der Pulmonalarterie zweckentsprechend fortbewegt wird.

### 1. Elektrochemie der Umwandelung des Venenblutes.

Vorliegende Arbeit beschäftigt sich vor allem mit der Frage der natürlichen Umwandelung des Venenblutes. Es ist versucht worden, das Verhalten des Venenblutes auf seinem Wege durch die Pulmonalarterie zu ergründen. In Anwendung kamen bei diesen Versuchen nachstehende Methoden: Blosslegung der Pulmonalarterie und Anlegung eines Quetschhahnes an dieselbe während oder nach der Inspiration; Entleerung der Pulmonalarterie; Bestimmung der in den verschiedenen Zuständen der Pulmonalarterie entnommenen Blutmasse, Blutgase, Wasserdämpfe und Blutkörperchen.

Die Versuche ergaben, dass das Venenblut in hohem Grade das Bestreben zeigt, nach seinem Eintritt in die Pulmonalarterie zu verdunsten. Dass eine beträchtliche Wasserverdunstung aus dem Blute in den Lungen stattfindet, ist längst bekannt und dadurch bewiesen, dass die Exspirationsluft für ihren Temperaturgrad mit Wasserdämpfen nahezu gesättigt ist. Über die Einzelheiten der Wasserverdunstung aus dem Venenblute scheint uns folgende Betrachtung eine Auskunft zu geben.

#### a) Verhalten des im Venenblute enthaltenen Wassers nach seinem Eintritt in die Pulmonalarterie.

Das Venenblut enthält etwa 79 Gewichtsprozent Wasser, das portionsweise in die Pulmonalarterie geschafft wird. Das Verhalten der Blutflüssigkeit nach ihrem Eintritt in die Pulmonalarterie lässt sich übersehen, wenn man sich die Thatsache ins Gedächtnis zurückruft, dass die feinen Pulmonalarterien imgefolge der Aufblähung der Lungenalveolen (s. S. 115) am Ende der Inspiration zusammengepresst werden, um sich nach vollendeter Exspiration zu erweitern. Durch die Erweiterung und Zusammenpressung der feinen Pulmonalarterien wird nun bei jedem Atemzuge der Querschnitt der Pulmonalarterie verändert. Der Querschnitt der Pulmonalarterie nimmt von 181 Quadratmillimeter auf 23 000 Quadratmillimeter zu*). Die Pulmonalarterie bildet hiernach einen kegelförmigen Raum, welcher am Ende jeder Inspiration infolge der Zusammenpressung der feineren Pulmonalarterien zum grössten Teil verschwindet, um bei tiefer Exspirationsstellung der Lunge infolge der Erweiterung der feinen Pulmonalarterien von neuem zu entstehen. Dieser nun entstandene Raum ist im Moment seiner Entstehung blutleer.

Um so grossen blutleeren Raum, den die feinen Pulmonalarterien bilden, während der kurzen Inspirationsphase mit venösem Blute zu füllen, reicht die Öffnung der Pulmonalarterienklappe nicht aus. Infolgedessen hält der negative Druck in der Pulmonalarterie vom Anfang bis zum Ende der Inspiration an. Während dieser

*) W. S. Müller, The structure of the lung. (Journal of Morphal VIII, 1. P. 165).

Zeit kann die Blutflüssigkeit unter dem Einfluss des negativen Blutdrucks in der Pulmonalarterie zum grossen Teil verdunsten. Der weitgehendste Beweis für diese Behauptung liegt darin, dass die erweiterte Pulmonalarterie zum grössten Teil mit Wasserdampf gefüllt ist.

Mit der Wasserverdunstung geht bekanntlich Elektricitätserregung einher, wenn dieselbe im Vacuum bei 38° vor sich geht. Man kann also die Erregung der physiologischen Elektricität, die sich in der Pulmonatarterie nachweisen lässt, auf die Verdampfung der Blutflüssigkeit zurückführen. Es würde sich die physiologische Elektricität auch in der Pulmonalarterie wirksam erweisen und zwar auf die Art und Weise, dass sie die Blutflüssigkeiten in grade fortschreitender Richtung in den Jonenzustand überführt. Die Versuche, denen diese Vorstellung entnommen wurde, sind bereits auf Seite 47 beschrieben.

Diese Erfahrung kann man durch folgenden Satz ausdrücken: Ein Teil des im venösen Blute enthaltenen Wassers geht während der Inspiration bei 38° unter dem Einflusse des negativen Blutdrucks innerhalb der erweiterten Pulmonalarterie in dampfförmiges Aggregat über, während ein anderer Teil des Blutwassers durch die physiologische Elektricität in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird.

### b) Verhalten der Blutgase nach ihrem Eintritt in die Pulmonalarterie.

Im venösen Säugetierblute sind im Mittel 1,8 Volumenprozent Stickstoff — 11,9 Volumenprozent Sauerstoff — und 45 Volumenprozente Kohlensäure enthalten *). Magnus war der erste, welcher zeigte, dass aus dem Blute in den luftverdünnten Raum (das Vacuum der Luftpumpe) Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure entweichen.

Da sich nun ein Vacuum nach vollendeter Exspiration innerhalb der Pulmonalarterie (s. S. 115) bildet, so kann Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure aus dem venösen Blute in den blutleeren Raum entweichen, den die feinen Pulmonalarterien bilden. Hierfür sprechen auch folgende Versuche:

Wird die Wurzel der Pulmonalarterie im Beginn der Inspiration unterbunden, und lässt man das Blut direkt aus dem unterbundenen Gefäss in das Vacuum eintreten, so gewinnt man im Verhältnis zu dem grossen Raume der Pulmonalarterie sehr wenig Blutflüssigkeit, dagegen eine grosse Menge von Gas und Wasserdampf. Die Pulmonalarterie ist also zum grössten Teil mit Gasen und Wasserdämpfen gefüllt.

Wenn man den hohen Luftdruck, unter dem sich ein Tier einige Zeit befunden hat, sehr rasch wieder herabsetzt, so findet man bei solchen Tieren in den grossen

*) Jedoch ist die Menge der Blutgase in den verschiedenen Venenbezirken sehr verschieden und von der Nahrungsaufnahme und Bluttemperatur abhängig.

Venen und namentlich in der Pulmonalarterie Gasblasen, die offenbar aus dem Blute unter dem Einfluss der Druckerniederung entwickelt wurden.

Aus dem Gesagten ergiebt sich folgende Schlussfolgerung: Die Blutmasse, welche während der Inspiration aus dem rechten Herzen in die Pulmonalarterie gelangt war, verliert hier unter dem Einfluss des negativen Druckes ihren Gehalt an Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure.

### c) Verhalten der zelligen Elemente des Venenblutes nach ihrem Eintritt in die Pulmonalarterie.

Im venösen Menschenblute sind enthalten: a) normale rote Blutkörperchen*); b) Riesenblutkörperchen; c) mono- und polynucleäre weisse Blutkörperchen; d) Poikylocyten; e) Zwergblutkörperchen; f) Blutplättchen.

Nach den Zählungen von K. Vierordt, H. Wecker, Malassenz, Neubert u. a. sind in einem Kubikmillimeter menschlichen Blutes bei Männern etwa 5000000- bei Frauen etwa 4500000-Blutkörperchen enthalten. Ihre Zahl ist, wie bekannt, fortwährenden Schwankungen unterworfen.

Die Verteilung der meisten Blutkörperchen in der Blutbahn des Tierorganismus ist verschieden aber nach einem konstanten Verhältnis geregelt, indem stets in den peripheren Gefässen eine grössere Anzahl von Leukocyten vorhanden ist, als in den zentralen (A. Goldschneider, Paul Jakob).

Das Verhalten der zelligen Elemente des Venenblutes nach ihrem Eintritt in die Pulmonalarterie lässt sich ergründen an der Hand folgender Thatsachen:

1. Die Entgasung der Blutmasse und die Verdampfung der Blutflüssigkeiten gehen während der Inspiration in der Pulmonalarterie wie in einem Vacuumapparat neben einander einher und geben die Veranlassung zur Erregung der physiologischen Elektricität, welche in der Pulmonalarterie sich nachweisen lässt;

2. die physiologische Elektricität wird von einer Spannungsstufe auf eine höhere durch die Blutwärme transformiert (s. S. 44);

3. Rollet und Neumann waren die ersten, welche zeigten, dass Induktions- und konstante Ströme den Bau der Blutkörperchen zerstören;

4. vereinzelte Forscher kamen in jüngster Zeit zu der Überzeugung, dass die zelligen Elemente des Blutes Mauserungsprozesse durchmachen (Betrachtung über Mauserung des Blutes, Wiener klin. Wochenschrift 1894 — 131., S. 577).

Überblickt man diese vier Punkte, so macht sich allerdings die Schlussfolgerung geltend, dass die zelligen Elemente des venösen Blutes nach ihrem Austritt aus dem

*) Die roten Blutzellen bestehen nur einer peripheren Schicht der Hämoglobinschicht (Foa und a.), unter welcher sich ein feines Netzwerk befindet, in dessen Maschen sich mit Eosin gut färbbare Granula finden. Erst unter dieser Schicht liegt das homogene Zellenprotoplasma.

rechten Herzen durch die hochgespannte physiologische Elektricität in der Pulmonalarterie zerstört werden. Diese Schlussfolgerung bestätigt auch ein später angeführtes Experiment.

Das Charakteristische bei der Destruktion der Blutkörperchen ist das Freiwerden von Kohlenstoff, welcher bei Berührung mit der Kohlensäure des Venenblutes zu Kohlenoxyd umgewandelt wird.

Die Vorstellung, welche man sich über die Umwandelung des Venenblutes zu flüchtigen Naturprodukten zu machen hat, ist folgende: Das Venenblut wird nach seinem Eintritt in die Pulmonalarterie dahin verändert, dass das Wasser aus dem Blute verdunstet, die Blutgase aus ihren früheren Verbindungen entweichen und die Blutzellen durch tierische Elektricität in Jonen aufgelöst werden, ein elektrochemischer Vorgang, der einen doppelten Nutzen hat: Einmal werden die heterogenen Blutmassen zu flüchtigen Naturprodukten überführt, welche teils zur Unterhaltung der Atmung dienen, teils zur Bereitung des arteriellen Blutes verwendet werden. Zweitens treten die flüchtigen Körper aus der Pulmonalarterie rasch in die an sie angrenzenden Lufträume (Alveolen, Atrien, Luftsäcke s. S. 126) über, um von hier in die Lungenvenen zu gelangen.

Diese Vorstellung lässt sich noch durch folgendes stützen:

## 2. Mechanik der Umwandelung des Venenblutes.

Die Mechanik der Umwandelung des Venenblutes löst die Aufgabe:

1. das Lumen der feineren Pulmonalarterien nach vollendeter Inspiration zu verengern und nach vollendeter Exspiration um gleichviel zu erweitern; 2. Blut aus dem rechten Herzen in die Pulmonalarterie zu schaffen, und 3. die Blutgase, Dämpfe, Jonen aus der Pulmonalarterie fortzuschaffen.

Man behandelt diese drei Vorgänge gesondert unter nachstehenden Titeln:

a) Verengerung und Erweiterung des Lumens der feineren Pulmonalarterie;

b) Einnahmen der Pulmonalarterie an Venenblut;

c) Ausgaben der Pulmonalarterie an flüchtigen Naturprodukten.

### a) Verengerung und Erweiterung der feineren Pulmonalarterien.

Die Eingangs dieses Abschnittes angeführten Versuche über die Form und Lageveränderung der dünnwandigen Hohlorgane der Lunge haben nachstehende Daten ergeben:

Die feineren Pulmonalarterien befinden sich am Ende jeder tieferen Inspiration, also im Moment der maximalen Aufblähung der Lunge etwas geradlinig ausgestreckt und zusammengepresst, während dieselben am Ende der Exspiration, also im Moment

der maximalen Kollabierung der Lunge wellenförmig gekrümmt und erweitert erscheinen.

Hiernach müssen die Wände der feineren Pulmonalarterien bei jedem Atemzuge eine Bewegung ausführen, durch welche das Lumen der feinen Pulmonalarterie mit Beginn der Inspiration erweitert und nach vollendeter Inspiration verengert wird. Über die Faktoren, welche diesen Vorgang vermitteln, handelt das nächste Kapitel.

### b) Einnahmen der Pulmonalarterien an Venenblut.

Der mechanische Vorgang, welcher die Einnahmen der Pulmonalarterie an Venenblut vermittelt, basiert auf folgenden Thatsachen:

Die Pulmonalarterie bildet in erweitertem Zustande einen kegelförmigen Raum, dessen Basis die feineren Pulmonalarterien darstellen. Dieser Raum wird am Ende jeder Inspiration durch Zusammenpressung seiner Basis um ca. 80 Raumteile verkleinert und verbleibt in diesem Zustande während der ganzen Exspiration. Nach vollendeter Exspiration erreicht der Raum wiederum seine ursprüngliche Grösse, wie diesbezügliche Untersuchungen (S. 115) lehren.

Sobald der Raum seine ursprüngliche Grösse und Kegelform im Beginn der Inspiration erreicht hat, sinkt der Druck in der Pulmonalarterie um 10—20 mm Quecksilber unter den atmosphärischen; und in dem Moment, wo sich ein negativer Druck von etwa 2 mm in der Pulmonalarterie eingestellt hat, herrscht ein positiver Druck von etwa 12 mm Quecksilber in der rechten Herzkammer und dem ganzen Venensystem. Diese Druckdifferenz bewirkt:

1. dass durch den hohen Blutdruck des rechten Herzens die Semilunarklappe der Pulmonalarterie geöffnet wird;

2. dass das venöse Blut in Bewegung gerät und von den Punkten höheren Drucks (rechte Herzkammer) zu den Punkten niederen Drucks (Pulmonalarterie) strömt;

3. dass der Druck im ganzen Venensystem im Beginn der Inspiration um etwa 8—12 mm sinkt.

Der weitgehendste Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung ergiebt sich aus der Thatsache, dass der Blutdruck während der Inspiration im Venensystem um 5—20 mm einer Natriumkarbonadlösung sinkt (Wertheimer).*)

Beim Übertritt des Venenblutes in die Pulmonalarterie kommt also nicht die vermeintliche Kontraktion des Herzmuskels in Betracht, sondern nur die Druckdifferenz, welche bei jeder Inspiration zwischen den Hauptvenenstämmen dem rechten Herzen und der Pulmonalarterie entsteht.

*) Influence de la respiration sur la circulation veineux des membres inferieurs (C. R. Soc. de Biologie 17. Nov. 1894. p. 721).

Von der Grösse dieser Druckdifferenz ist die Stromgeschwindigkeit der im Venensystem befindlichen Substanzen abhängig. Um den Blutgasen eine Geschwindigkeit von 50 m zu erteilen, ist nur eine Druckdifferenz von 12,3 mm Hg. nötig. Diese Druckdifferenz vermag den Blutkörperchen nur eine Geschwindigkeit von 1,5 m zu erteilen; also übertrifft die Geschwindigkeit der Blutgase die der Blutkörperchen um ca. 48 m, folglich werden die Blutgase aus dem ganzen Venensystem früher als die Blutkörperchen aus der rechten Herzkammer in die Pulmonalarterie gelangen können. Für die Richtigkeit dieser Behauptung spricht auch die Thatsache, dass die feineren Pulmonalarterien mit Blutgasen, Wasserdampf und fein verteilten Körpern gefüllt sind.

Da nun durch das rückstauende Lungenblut die Klappe der Pulmonalarterie im Beginn der Exspiration geschlossen wird, und da diese Klappe vom Anfang bis zu Ende der Inspiration offen steht, so kann das Blut aus dem rechten Herzen nur während der Inspiration in die Pulmonalarterie einströmen. Also nimmt die Pulmonalarterie bei jedem Atemzuge eine bestimmte Blutmenge auf, deren Grösse von der Tiefe der Atmung abhängt.

Obige Erfahrung lässt sich kurz durch folgenden Satz ausdrücken: Das Venenblut, unter relativ höherem Drucke in rechtem Herzen stehend, strömt während der Inspiration aus dem rechten Herzen in die Pulmonalarterie, in welcher ein negativer Druck herrscht, ein. Hierher gehört folgende Bemerkung: Nach vollendeter Inspiration steigt der Druck in der Pulmonalarterie über den im rechten Herzen und verschliesst die Klappe der Pulmonalarterie. Es kann also die Pulmonalarterie nur während der Inspiration Blut aus dem rechten Herzen beziehen.

### c) Ausgaben der Pulmonalarterie an flüchtigen Naturprodukten.

Die Art, wie die Blutgase, Dämpfe und Jonen, welche durch Elektrolyse des Venenblutes in den feineren Pulmonalarterien entstanden sind und die als flüchtige Naturprodukte bezeichnet werden, aus der Pulmonalarterie fortgeschafft werden, lässt sich übersehen, wenn man die Triebkraft kennt, welche die in den feineren Pulmonalarterien befindlichen Dämpfe und Blutgase in Bewegung versetzt. Diese Triebkraft ist jedenfalls die Druckdifferenz, welche bei jeder Inspiration zwischen der Pulmonalarterie, den Lungenlufträumen und den Lungenvenen entsteht.

Zur Erläuterung der Entstehung dieser Druckdifferenz dient folgendes:

Die feineren Lungenvenen und Pulmonalarterien befinden sich im Beginn der Exspiration in kollabiertem Zustand und während der Inspiration in erweitertem Zustand (S. 115). Die Kollabierung und Erweiterung dieser Blutwege geht also mit der Atmung in gleichem Schritte einher. Während der Erweiterung der Blutwege entsteht

in den Lungenvenen ein grösserer blutleerer Raum als in der Pulmonalarterie. Der eigentliche Grund dafür liegt einerseits in dem Unterschiede der Querschnitte der Blutwege und andererseits in der Anordnung der Herzklappen. Der Querschnitt der Blutwege nimmt von 181 Quadratmillimetern in der Pulmonalarterie auf 23 000 Quadratmillimeter und von 756 Quadratmillimetern in den Lungenvenen auf 92 500 Quadratmillimeter zu; also übertrifft der Querschnitt der Lungenvenen den der Pulmonalarterien um ca. 69 500 Quadratmillimeter, folglich wird nach der Erweiterung der beiden Blutwege ein grösserer Saugraum in den Lungenvenen als in der Pulmonalarterie entstehen müssen, weil die Anordnung der Pulmonalarterienklappe gestattet, dass das Blut aus dem rechten Herzen und dem Venensystem während der Inspiration in die Pulmonalarterie einströmen kann, während die Aortaklappe so angeordnet ist, dass sich dieselbe in dem Momente schliesst, wo ein negativer Druck in den Lungenvenen entsteht; also bildet sich in den erweiterten Lungenvenen am Ende jeder Exspiration ein Saugraum von 23 mm, in den die dampf- und gasförmigen Blutbestandteile aus den feineren Pulmonalarterien übertreten können.

Der Übertritt erfolgt auf dem kürzesten Wege, weshalb die dampf- und gasförmigen Substanzen aus den feineren Pulmonalarterien zunächst in die Lufträume der Lunge (Alveolen, Luftsäcke) übertreten, weil letztere zwischen den peripheren Enden der feineren Pulmonalarterien und Lungenvenen sich befinden. Aus den Luftsäcken und Alveolen strahlen die flüchtigen Substanzen in die Lungenvenen, welche an der peripheren Seite der Luftsäcke, Alveolen angeordnet sind, über. Dieser Vorgang findet nur während der Inspiration statt.

Man kann diesen Vorgang durch folgenden Satz ausdrücken: Die Pulmonalarterie giebt bei jeder Inspiration eine bestimmte Menge von flüchtigen Körpern an die Luftsäcke ab, welche aus denselben in die saugenden Lungenvenen überstrahlen.

Zur Versinnbildlichung des mechanischen Vorganges, durch welchen die flüchtigen Substanzen aus den feineren Pulmonalarterien in die Luftsäcke und von dort in die Lungenvenen überführt werden, möge umstehendes Schema dienen.

Die hohe Saugkraft der Lungenvenen vermittelt also den Übertritt von flüchtigen Stoffen aus der Pulmonalarterie in die Lungenvenen, welchen die Pfeile in Fig. XIX illustrieren.

Das Charakteristische bei diesem Vorgange ist, dass weder Blutkörperchen noch Wasser aus der Pulmonalarterie in die Lungenvenen gelangen können; denn der Durchmesser der Blutkörperchen ist etwa 500mal grösser als der einer Pore der Wände der Pulmonalarterie; und die Blutflüssigkeit, indem sie wie das Wasser eine elastische Oberhaut besitzt, kann bei negativem Blutdrucke überhaupt nicht durch

kleine Öffnungen hindurch strömen. Das Vorhandensein einer elastischen Haut auf dem Wasser zeigt sich, wenn man ein Drahtnetz, dessen Maschen mit geschmolzenem Parafin überzogen, also unbenetzbar sind, auf das Wasser legt. Auch kann man hier Wasser in das Sieb giessen! Es läuft nicht hindurch, trotzdem die Öffnungen frei von Parafin sind (Könnemann).

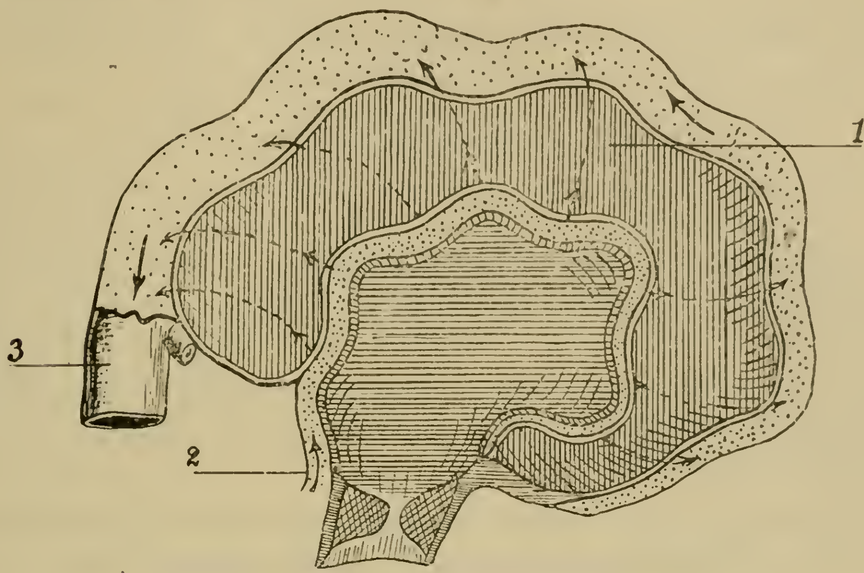



Fig. XIX. Längsschnitt eines Luftsackes und der in seiner Wandung liegenden Blutgefässe.

Figurenerklärung:

1. Luftsack, welcher infolge starker Faltung seiner Wände einen unregelmässigen, halbkreisförmigen Raum bildet;

2. Pulmonalarterie des Luftsackes, in welcher die Spannung höher als in dem Luftsack ist: daher können flüchtige Substanzen aus der Pulmonalarterie in den Luftsack übertreten. Diese flüchtigen Substanzen sind durch kleine Punkte, und ihre Durchstrahlung durch die Pfeile veranschaulicht;

3. Lungenvenen, in welchen ein Saugraum von 23 mm herrscht, in den nur flüchtige Körper einströmen.

Die Diffusion der Flüssigkeiten durch tierische Membran ist stets mit elektrolytischer Aktion verknüpft. Die Versuche, denen diese Ansicht entnommen wurde, haben wir am Ende des ersten Abschnittes (s. S. 53) betrachtet.

Die in diesem Kapitel angeführten Daten beweisen zur Genüge, dass eine Destruktion des Venenblutes nach seinem Eintritt in die feineren Pulmonalarterien stattfindet, deren Zweck auf einer anderen Stelle erklärt wird. Die Destruktion des Venenblutes besteht darin, dass die Blutmasse in der Pulmonalarterie zu flüchtigen Stoffen umgewandelt wird. Diese Stoffe treten aus der Pulmonalarterie in

die Luftsäcke und von dort in die Lungenvenen über. Inwieweit sich die flüchtigen Bestandteile des Venenblutes an der Bildung des arteriellen Blutes beteiligen, geht aus dem folgenden § 2 hervor.

## § 2. Bereitung des arteriellen Blutes in den Lungenvenen.

Die Bereitung des arteriellen Blutes setzt sich aus einem mechanischen und aus einem elektrochemischen Akte zusammen, weshalb man von Mechanik und Elektrochemie der Bereitung des Arterienblutes sprechen kann.

### 1. Mechanik der Bereitung des Arterienblutes.

Die Mechanik der Bereitung des Arterienblutes behandelt nachstehende Vorgänge: a) Zusammenpressung der feineren Lungenvenen am Ende der Inspiration und Erweiterung derselben nach vollendeter Exspiration; b) Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des Venenblutes; c) Einnahmen der Lungenvenen an Bestandteilen der Reserveluft; d) Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des Ernährungsmateriales; e) Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des arteriellen Blutes; f) Abmessung der zur Bildung des arteriellen Blutes erforderlichen Stoffe.

#### a) Zusammenpressung der feineren Lungenvenen am Ende der Inspiration und Erweiterung derselben nach vollendeter Exspiration.

Die feineren Lungenvenen befinden sich während der höchsten Inspirationsstellung der Lunge in kollabiertem Zustande, indem ihre Wände so, wie die Fig. XVII zeigt, an einandergepresst erscheinen, dagegen befinden sich dieselben nach vollendeter Exspiration in erweitertem Zustande (s. S. 115).

Aus den Untersuchungen, welche im vorhergehenden Kapitel angeführt worden sind, geht hervor, dass die Erweiterung der feineren Lungenvenen und Kollabierung der Lufträume (Lungenalveolen-Luftsäcke) zu einander in einem gewissen Antagonismus stehen. Befinden sich zum Beispiel die feineren Lungenvenen in erweitertem Zustande, so erscheinen die Lungenalveolen und Luftsäcke im höchsten Grade kollabiert.

Auf die Faktoren, durch welche die feineren Lungenvenen am Ende jeder Inspiration zusammengepresst und nach vollendeter Exspiration erweitert werden, kommen wir bei der Lungenatmung zu sprechen.

#### b) Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des Venenblutes.

Im Einklang mit dem im § 1 geschilderten Vorgange, welcher die Überführung der dampf- und gasförmigen Substanzen von den feineren Pulmonalarterien nach

den Lungenvenen bewirkt, steht der mechanische Akt, welcher die Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des Venenblutes vermittelt.

Es bildet sich, wie im § 1 erklärt wurde, am Ende der Exspiration grösserer Saugraum in den Lungenvenen, als in der Pulmonalarterie, und infolgedessen aspirieren die Lungenvenen vermöge ihrer höheren Saugkraft die Bestandteile des Venenblutes, welche flüchtiger Natur sind.

Da nun die flüchtigen Bestandteile des Venenblutes den grossen Saugraum, welcher sich am Ende der Exspiration in den Lungenvenen bildet, nur zum dritten Teil ausfüllen, so können die Lungenvenen noch andere flüchtige Körper aus ihrer Umgebung aufnehmen. Zu diesen Körpern gehören: Bestandteile der Reserveluft, der Nahrungsmittel und des Blutes der Bronchialarterien.

### c) Einnahmen der Lungenvenen an Bestandteilen der Reserveluft.

Reserveluft ist die Quantität, welche nach einer gewöhnlichen Exspiration durch eine Anstrengung der Exspirationsmuskeln noch ausgeatmet werden kann, sie beträgt 1000—1500 ccm.

Die Spannung der Reserveluft ist am Ende der Exspiration ebenso gross, wie die in der Atmosphäre, während die Spannung in den Lungenvenen am Ende der Exspiration 23 mm unter die der Reserveluft sinkt; also entsteht am Ende jeder Exspiration zwischen den Lufträumen der Lunge (Luftsäcke, Alveolen, Atrien) einerseits und den Lungenvenen andererseits eine Druckdifferenz von etwa 23 mm. Diese Druckdifferenz hat nun zur Folge, dass die leicht diffusiblen Bestandteile der Reserveluft in Bewegung geraten und von den Punkten höherer Spannung (Luftsäcke, Alveolen) zu den Punkten niederer Spannung (Lungenvenen) strömen.

Die leicht diffusiblen Bestandteile der Reserveluft treten bei einer Druckdifferenz von 23 mm durch die porösen Wände der Luftsäcke und Lungenvenen, wie durch einen Filter hindurch, während die übrigen, schwer diffusiblen Stoffe auf dem Filter zurückbleiben; also werden die Luftsäcke in gerade fortschreitender Richtung entleert, und auf Kosten der Entleerung der Luftsäcke erfolgt die Füllung derselben mit der Inspirationsluft (näheres hierüber lehrt die Lungenatmung).

Da nun die Ansicht, dass Sauerstoff der Atmosphäre in die Alveolen der Lunge eindringt, in der das feine Epithel derselben und die Kapillarwand ihn nicht aufhalten können auf seinem Wege ins Blut, allgemein für erwiesen gilt, so kann nichts folgendem Schlusse entgegenstehen:

Die Lungenvenen, unter negativem Drucke während der Inspiration stehend, aspirieren luftförmige Körper, welche sich in den Luftsäcken und Alveolen der Lunge befinden, wenn ihr Durchmesser den der Pore der Venenwände nicht übersteigt.

### d) Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des Ernährungsmateriales.

Die Nahrungsmittel werden im Verdauungskanal durch die elektrolytische Aktion in ihre chemischen Bestandteile zerlegt (S. 61). Von dem Verdauungskanal treten die chemischen Bestandteile der Nahrungsmittel in die Peritonealhöhle über, wo dieselben zu brauchbarem Ernährungsmaterial umgewandelt werden (S. 86).

In der Peritonealhöhle herrscht während der Inspiration ein positiver Druck von etwa 12 mm, dessen Wert jedoch fortwährenden Schwankungen unterworfen ist; in den Lungenvenen stellt sich am Ende jeder Exspiration ein negativer Druck von 23 mm ein: also beträgt die Druckdifferenz zwischen der Peritonealhöhle und den Lungenvenen etwa 35 mm, und folglich wird ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher die flüchtigen Bestandteile des Ernährungsmateriales aus dem Orte höheren Druckes (Peritonealhöhle) zu dem niederen Druckes (Lungenvenen) schaffen muss. Mit anderen Worten: die Lungenvenen saugen während der Inspiration eine bestimmte Menge von flüchtigen Körpern aus der Peritonealhöhle auf.

Zur Erläuterung dieses Vorganges dient folgendes:

Die Aufsaugung von elastisch-flüssigen Körpern aus der Bauchhöhle durch die Lungenvenen wurde von Menschen zum wiederholten Mal wahrgenommen. So z. B. hörten Stockers und Louis von ein paar Kranken die Versicherung, sie hätten beim Einatmen der Luft, wie einen von unten (Peritonealhöhle) nach oben strömenden Wind empfunden.

Die von A. Beck in der Wiener klinischen Wochenschrift VI Nr. 76 1893 veröffentlichten Injektionsversuche mit im Wasser oder Öl aufschwemmten unlöslichen Körpern, wie Stärke, Zinnober, Russ etc. in die Peritonealhöhle liefern den Beweis, dass Zinnober resp. Stärkekörner aus dem Peritonealraum in die Lunge gelangen, wie die Präparate aus der Lunge der betreffenden Versuchstiere lehren, bei welchen die aufgesaugten Körper in dem Parenchym der Lunge nachweisbar waren.

Hält man sich an die vorerwähnten Daten und ruft man sich die durch Figur XIX veranschaulichten Erfahrungen ins Gedächtnis zurück, so kommt man zu folgendem Schlusse:

Die Lungenvenen, während der Inspiration unter negativem Drucke stehend, aspirieren aus der Peritonealhöhle flüchtiges Ernährungsmaterial, welches, wie die Elektrochemie der Blutbereitung (S. 130) lehrt, zur Bildung des arteriellen Blutes in den Lungenvenen verwendet wird.

### e) Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigen Bestandteilen des Blutes der Bronchialarterien.

Die Wände der Bronchialarterien leisten, wie aus dem Kapitel VI Abschnitt IV ersichtlich ist, dem mittleren Blutdrucke hinreichend Widerstand, wenn ein positiver

Druck an ihrer äusseren Oberfläche wirkt. Indem der intrapulmonelle Druck mit Beginn der Inspiration unter den atmosphärischen sinkt, werden die Bronchialarterien undicht für flüchtige Bestandteile des arteriellen Blutes. Es treten also flüchtige Körper aus den Bronchialarterien in die Lungengewebe über. Die Versuche, denen diese Vorstellung entnommen wurde, haben wir bereits im III. Abschnitt ausführlich besprochen. Die Spannung in den Lungengeweben (als Ausdruck der mittleren Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen) ist = 12 mm Hg.; in den Lungenvenen bildet sich während der Inspiration ein Saugraum von 23 mm, also übertrifft die Gewebsspannung die der Lungenvenen um ca. 35 mm Hg., folglich wird während der Inspiration ein Diffusionsstrom thätig werden, welcher flüchtige Körper aus dem Orte höherer Spannung (Lungengewebe) zu dem niederer Spannung (Lungenvenen) schaffen muss. Daneben verläuft noch ein zweiter Vorgang, welcher die Einnahmen der Lungenalveolen und Luftsäcke an Kohlenstoff, Ammoniak etc. vermittelt, dessen Bedeutung für die Atmung auf einer anderen Stelle erklärt wird.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Bronchialarterien während der Inspiration eine Portion Blut in Dampfform an die Lungenkapillaren abgeben und dass diese dampfförmigen Bestandteile des Arterienblutes vermöge ihrer hohen Spannung aus den Lungenkapillaren in die Lungenvenen eindringen.

### f) Abmessung der zur Bildung des arteriellen Blutes erforderlichen Stoffe.

Die Zusammensetzung des Arterienblutes ist, wie die Analyse lehrt, an bestimmte Mengenverhältnisse der Ingredienzien gebunden. Diese Erfahrung führte uns zur Untersuchung der Frage, ob die Bestandteile des arteriellen Blutes auf dem Wege durch das Porensystem der Gefässwände quantitativ bestimmt werden. Die diesbezügliche Aufklärung scheint uns nachstehende Betrachtung zu geben.

Es ist bekannt, dass flüchtige Stoffe in den luftleeren Raum mit einer Geschwindigkeit einströmen, welche der Quadratwurzel ihrer Dichte umgekehrt proportional ist. Graham's direkte Versuche über die Stromgeschwindigkeit ergaben für Luft 1; Sauerstoff 0,950; Kohlensäure 0,812; Kohlenwasserstoff 1,344; Wasserstoffgas 3,613 u. s. w. Er fand dabei, dass ungleiche Körper flüchtiger Natur in der Zeiteinheit durch enge Öffnungen in verschiedenen Gewichtsmengen hindurchgehen.

Da sich ein Saugraum innerhalb der Lungenvenen bei jeder Inspiration bildet, und da sämmtliche Poren der Wände der Lungenvenen gleich grossen Durchmesser besitzen, so müssen, dem Graham'schen Gesetze zufolge, die Moleküle der Eiweisse, Kohlenhydrate, sowie die Wasserdampfpartikel und freien Gase auf ihrem Wege durch die porösen Wände der Lungenvenen mit ungleicher Geschwindigkeit strömen. Mit anderen Worten würde diese Auffassung folgendermassen lauten:

Die verschiedenen Körper, welche unter der Saugkraft der Lungenvenen stehen,

strömen durch die Kapillaren der Lunge und durch die porösen Wände der Lungenvenen mit ungleicher Geschwindigkeit, weshalb die einzelnen Körpergruppen in die saugenden Lungenvenen in einem gewisssen Mengenverhältnis zu einander eindringen. Man kann die in die Lungenvenen eingedrungenen Körper auch definieren als einen natürlich kombinierten Komplex von mehreren Stoffen, deren Gewichtsmengen in den Verhältnissen zu einander stehen, nach denen sich dieselben in den Lungenvenen synthetisch vereinigen können.

## 2. Elektrochemie der Bereitung des arteriellen Blutes.

Die Lehre von der Bereitung des Arterienblutes basiert auf der Thatsache, dass das Venenblut auf dem Wege durch die Pulmonalarterie zu flüchtigen Substanzen umgewandelt wird und dass die Lungenvenen während der Inspiration aus den Luftsäcken, Bronchialarterien, der Pulmonalarterie und Peritonalhöhle eine bestimmte Menge von flüchtigen Stoffen beziehen (s. S. 126—129) und dafür bei der nächsten Exspiration an den linken Vorhof und Ventrikel eine äquivalente Blutmasse abgeben.

Die Elektrochemie der Bereitung des arteriellen Blutes löst die Aufgabe:

a) die in die Lungenvenen eingedrungenen flüchtigen Substanzen zu tropfbarer Blutflüssigkeit umzuwandeln, und b) die zelligen Elemente des Arterienblutes zu bilden.

### a) Umwandelung der in die Lungenvenen eingedrungenen flüchtigen Körper zur Blutflüssigkeit.

Unter den flüchtigen Körpern, die in den erweiterten Lungenvenen in bestimmten Gewichtsmengen zu einander stehen, befinden sich etwa 79 Gewichtsprozent Wasserdampf. Mit diesem Wasserdampf sättigt sich der Raum, welcher sich am Ende der Exspiration in den feineren Lungenvenen gebildet hat (s. S. 118).

Im vorhergehenden Kapitel wurde die Thatsache sichergestellt, dass sich der Raum, der sich in den Lungenvenen am Ende der Exspiration gebildet hat, am Ende der Inspiration um etwa 80 Raumteile verkleinert, und da nun dieser Raum vor seiner Verkleinerung mit Wasserdampf gesättigt war, so ist es klar, dass sich der Wasserdampf bei der Verkleinerung des Raumes bis auf einen Rest von 20 Volumprozent zu tropfbarer Flüssigkeit verdichtet, weil der kleinere Raum im Zustande der Sättigung auch weniger Dampf aufnimmt.

Diese Flüssigkeit absorbiert die flüchtigen Körper und die Blutgase, welche sich in den Lungenvenen befinden.

Also werden die flüchtigen Stoffe, welche während der Inspiration in die Lungenvenen gelangen, vor Beginn der darauffolgenden Exspiration nach rein physikalischen

Gesetzen zu Blutflüssigkeit umgewandelt. Diese Blutflüssigkeit fliesst im Beginn der Exspiration aus den Lungenvenen in den linken Vorhof und von hier in die linke Herzkammer ein, um von da schliesslich in die Aorta zu gelangen.

### b) Bildung der zelligen Elemente des Arterienblutes.

Nach der bisher geltenden Ansicht sollten die weissen Blutkörperchen aus zwei Quellen stammen, nämlich: erstens aus den Lymph- oder Chyluskörperchen und zweitens aus der Milz und dem Knochenmark. Die Abgabe von Zellen aus diesen Organen sollte durch Teilung der zurückgebliebenen Elemente ersetzt werden. Der Übergang von weissen in rote Blutkörperchen sollte die Quelle für Entstehung von roten Blutkörperchen bilden.

Da wir in vorhergehender Abhandlung gezeigt haben, dass die Blutkörperchen auf dem Wege durch die Pulmonalarterie zerstört werden, so liegt die Vermutung nahe, dass die Blutkörperchen durch elektrosynthetische Vereinigung gewisser Blutbestandteile in den Lungenvenen selbst gebildet werden, weil in den Lungenvenen dieselben Bedingungen erfüllt sind, unter welchen die Entstehung der Blutkörperchen in den peripheren Venen geschieht, wie aus folgendem ersichtlich ist:

a) Die normale Temperatur in den Lungenvenen und im linken Vorhof beträgt im Mittel 37,4°. Ebenso hoch ist die mittlere Temperatur in den peripheren Venen.

b) Es bildet sich während der Inspiration in den Lungenvenen ein Saugraum, in den Wasserdampf und verschiedene Gase in bestimmten Gewichtsmengen eindringen; es bildet sich auch bei jeder Inspiration in den peripheren Venen ein Saugraum, in den Wasserdampf und chemische Bestandteile des Ernährungsmateriales in bestimmten Gewichtsmengen eintreten.

c) Der Wasserdampf verdichtet sich am Ende jeder Inspiration in den Lungenvenen zu tropfbarer Flüssigkeit; die Verdichtung des Wasserdampfes findet zu gleicher Zeit auch in den peripheren Venen statt, was den Anstoss zur Entstehung der scheinbar einfachen Gebilden, der Blutkörperchen giebt.

Wollten wir durch einen Satz unsere Vorstellung über die Entstehung der Blutkörperchen begrifflich machen, so müsste er lauten: Die Dampfpartikel üben, indem sie sich behufs ihrer Verdichtung in den Blutgefässen nähern, eine spezifische Anziehungskraft auf die rings umstehenden flüchtigen Körper aus, wodurch gewisse Stoffe in solchen Gewichtsmengen konzentriert werden, nach denen sich dieselben elektrosynthetisch bei 37,4° zu einem Blutkörperchen vereinigen können. Was von dem einen oder dem andern Stoff darüber hinaus vorhanden ist, bleibt unverbunden, wenn nicht eine andere organische Verbindung mit anderen Gewichtsverhältnissen der Bestandteile entsteht.

Man erkennt gleich, wonach sich die alte Theorie, nach welcher man die Entstehung der einzelnen Zellindividuen durch Teilung*) allein geschehen liess, von der neuen Theorie unterscheidet, nach welcher die Zelle infolge elektrosynthetischer Vereinigung von mehreren in bestimmten Gewichtsverhältnissen zu einanderstehenden flüchtigen Stoffen bei gewissem Druckwert und Temperaturgrad entsteht.

Wenn man bedenkt, dass die Entwickelung jedes Körpers an bestimmte Temperatur innerhalb gewisser Grenzen und an die Zufuhr gewählter Nährstoffe gebunden ist, und dass das primäre Geschehen dabei immer ein molekulares, also ein innerhalb unsichtbar kleiner Teile sich vollziehendes ist, so würde man jedenfalls die neue Theorie der Entstehung der Elementarkörperchen über alle Zweifel erheben. Über die lebensthätigen Immedialbestandteile der Elementarkörperchen kommen wir weiter unten zu sprechen.

Die Menge des Blutes, welches in der angegebenen Art bei jedem Atemzuge in den Lungenvenen aus flüchtigen Substanzen gebildet wird, hängt von der Tiefe der Atmung ab. Über die Fortschaffung des Blutes aus den Lungenvenen handelt Kapitel V.

*) Die Furchung der Eizelle, welche nach etwa 70 Stunden beendet ist, sehen die modernen Protistenforscher nur als einen Gestaltungsvorgang an, welcher die Anlage zum Aufbau eines höheren Organismus bereitet. (Näheres hierüber später.)

Viertes Kapitel.

# Die Lungenatmung.

Vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der neuen Atmungslehre, deren Aufgabe es ist: 1. das Verhalten der Lungenluft unter dem Einflusse der elektrischen Energie, die sich in der Lunge mit einem Galvanoskop nachweisen lässt, zu erforschen; 2. die Einzelheiten der Atmungsmechanik zu ermitteln; 3. die Ursache der Atmung zu ergründen; 4. die Ursache des vesikulären Atmungsgeräusches aufzusuchen, und 5. den Zweck der Atmung zu erklären.

Diese fünf Punkte betrachtet man gesondert unter nachstehenden Titeln:

1. Elektrochemie der Atmung und ihr Einfluss auf die Entstehung thätiger Expansivkraft und tierischer Wärme in der Lunge;
2. Mechanik der Atmung;
3. Ursache der In- und Exspiration;
4. Ursache des vesikulären Atmungsgeräusches;
5. Zweck der Atmung.

## 1. Elektrochemie der Atmung und ihr Einfluss auf die Entstehung thätiger Expansivkraft und tierischer Wärme in der Lunge.

Die Elektrochemie der Atmung behandelt zunächst den Prozess der Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd, durch welchen die Entstehung thätiger Expansivkraft in den Lungenalveolen und Luftsäcken vermittelt wird, ferner den elektrochemischen Akt der Kohlensäurebildung, welcher in den Bronchien während der Exspiration vor sich geht und dem die exspirierte Kohlensäure ihre Entstehung verdankt. Im Zusammenhange mit diesen elektrochemischen Aktionen steht die Erzeugung der tierischen Wärme und Veränderung der Inspirationsluft, und da man diese Vorgänge auf die tierische Elektricität zurückführt, so möge hier der Erregung von tierischer Elektricität in den Lungen gedacht werden.

Um die gewünschte Einsicht in das Wesen der Atmung zu gewinnen, wollen wir die vorerwähnten Momente unter nachstehender Benennung betrachten:

a) Erregung tierischer Elektricität durch die Atmung und Ladung der Lunge mit Luftelektricität;
b) Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd während der Inspiration in den Atrien, Luftsäcken und Alveolen der Lunge;
c) Entstehung thätiger Expansivkraft während der Inspiration in den Atrien, Luftsäcken und Alveolen der Lunge;
d) Bildung der exspirierten Kohlensäure;
e) Veränderung der eingeatmeten Luft;
f) Wärmebildung in der Lunge.

### a) Erregung tierischer Elektricität durch die Atmung und Ladung der Lunge mit der Luftelektricität.

Die Anordnung der Nerven und glatten Muskeln in den Lungen lässt erwarten, dass bei der Lungenausdehnung durch Streckung der Nerven und Muskeln tierische Elektricität erregt wird, durch welche ein Galvanoskopausschlag hervorgerufen werden müsste. Wir suchten daher festzustellen, ob die inspiratorische Lungenausdehnung eine Veränderung des normalen Lungenstromes zur Folge hat.

Zur Untersuchung kamen Lungen von jungen Katzen, in welche während des Versuches von Zeit zu Zeit Luft von 37° eingeblasen wurde. Die Versuchsergebnisse sind folgende: Bringt man eine ganz frische, eben ausgeschnittene Lunge zwischen die ableitenden Elektroden, so findet man zwischen ihrer negativen und positiven elektrischen Oberfläche einen nur sehr schwachen Strom, dessen Kraft bei andauernder Aufblähung und Kollabierung der isolierten Lunge merklich zunimmt. Hieraus folgt, dass durch die Atembewegungen der Lunge tierische Elektricität erregt wird*).

Die Art, wie die Luftelektricität in die Lunge gelangt, lässt sich übersehen, wenn man von der Thatsache ausgeht, dass die feuchte Inspirationsluft einen guten Leiter darstellt, durch welchen die Luftelektricität in die Lungenalveolen geleitet wird. Hiernach bildet die lebende Alveole, der Luftsack eine Batterie von winzigen kleinen Elementen, deren Elektricität durch die Körperwärme von einer Spannungsstufe auf eine höhere transformiert wird; dies folgt aus der Thatsache, dass die elektrische Ladung der Exspirationsluft stärker, als die der Inspirationsluft ist (näheres über die Transformation elektrischer Energie durch Wärme siehe im I. Abschnitt, 3. Kapitel).

Obige Erfahrung lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken: Die feuchte Inspirationsluft leitet die Luftelektricität in die Luftsäcke und Lungenalveolen hinein,

*) Dass elektrische Energie durch Atmung auch in den Pflanzenzellen erzeugt wird, hat Haakes in jüngster Zeit experimentell nachgewiesen.

in welchen die elektrische Energie von einer Spannungsstufe auf eine höhere transformiert wird, und zu dieser Elektricität gesellt sich die tierische Elektricität, deren Erregung durch die Atembewegungen verursacht wird.

### b) Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd während der Inspiration in den Atrien, Luftsäcken nnd Alveolen der Lunge.

Wir begleiteten in einem früheren Kapitel die Kohlensäure des Venenblutes von ihrem Austritt aus den feineren Pulmonalarterien bis zu ihrem Übertritt in die Lungenvenen. Es wurde da hervorgehoben, dass die Blutgase während der Inspiration aus den feineren Pulmonalarterien zunächst in die Luftsäcke und Alveolen der Lunge übertreten, um von hier direkt in die Lungenvenen zu gelangen. Besonderes Interesse beansprucht die Thatsache, dass während der Inspiration eine bestimmte Menge von Kohlensäure in die Luftsäcke und Alveolen der Lunge geschafft wird, sowie dass die Luftsäcke und Alveolen der Lunge ausser der Kohlensäure noch flüchtige Stoffe vom Körperinnern beziehen. Zu diesen gehören unter anderen: Wasserdampf, Ammoniak, Wasserstoff, Grubengas, Kohlenstoff u. s. w. Der weitgehendste Beweis dafür ergiebt sich aus der Thatsache, dass in der Exspirationsluft vorerwähnte Stoffe sich nachweisen lassen. Als Beleg hierfür dient folgendes:

Die Exspirationsluft ist mit Wasserdampf für ihre Temperaturen nahezu gesättigt. Thyry-Schenk waren die ersten, die Spuren von Ammoniak in der Exspirationsluft fanden; Zuntz liess durch seinen Schüler Tacke in einer höchst interessanten Arbeit nachweisen, dass durch die Kaninchenlunge in 10 Stunden 45 Minuten die enorme Menge von 1035 cctm Wasserstoff und Grubengas ausgeschieden wurde; und J. Ben (Zeitschrift f. Hygiene XIV. S. 64) fand in der Exspirationsluft nachweisbare Mengen von organischen Substanzen.

Da nun Wasserdämpfe, Gase und organische Substanzen aus den Lufträumen der Lunge (Alveolen, Luftsäcke) mit der exspirierten Luft fortgeschafft werden, so ist daran nicht mehr zu zweifeln, dass die Luftsäcke und Lungenalveolen aus dem Körperinnern eine Menge von flüchtigen Stoffen beziehen, unter denen namentlich der Kohlenstoff bei der Atmung eine grosse Rolle spielt.

Welches sind nun die Leistungen des Kohlenstoffes, welcher aus dem Körperinnern in die Lungenalveolen und Luftsäckchen geschafft wird? Der Entscheidung dieser Frage lässt sich auf experimentellem Wege nahe kommen.

Der Kohlenstoff gerät unter dem Einflusse des elektrischen Stromes im luftverdünnten Raume ins Glühen, wobei die Temperatur des luftverdünnten Raumes erheblich steigt. Leitet man aber elektrische Starkströme von sehr hoher Wechselzahl durch denselben Raum, so wird der Kohlenstoff blitzschnell ins Glühen versetzt, wobei die Temperatur in den ersten paar Sekunden nicht über 40° steigt. Nach

Houston wird der tierische Körper desto mehr vor Verbrennung geschützt, je mehr die Wechselzahl zunimmt. Während gewöhnliche Starkströme von nicht zu hoher Wechselzahl lebensgefährliche physiologische Wirkungen erzeugen, nahm Tesla keinen elektrischen Schlag mehr wahr, nachdem er bei gleicher Stromstärke die Wechselzahl auf 20000 in der Sekunde erhöht hatte.

Kommt der Kohlenstoff im glühenden Zustande mit Kohlensäure in Berührung, so wird er nach der Gleichung

$$C + CO_2 = 2\,CO$$

in Kohlenoxyd umgewandelt.

Die Umwandelung der Kohlensäure zu Kohlenoxyd setzt voraus:

1. die Erhitzung des Kohlenstoffes und 2. die Berührung des erhitzten Kohlenstoffes mit der Kohlensäure.

Da nun die tierische Elektricität, sowie die Luftelektricität innerhalb der Lunge sich dadurch wirksam erweist, dass sie soviel Ströme, als es Luftsäckchen und Lungenalveolen giebt, erzeugt; da diese elektrischen Ströme den Kohlenstoff der Luftsäcke ins Glühen versetzen, wenn ein bestimmter negativer Druck in den Luftsäcken entsteht; da die Luftsäcke während der Inspiration erhebliche Mengen von Kohlensäure enthalten, mit welcher der glühende Kohlenstoff in Berührung kommt, so muss die Kohlensäure in den Luftsäcken, Alveolen und Atrien der Lunge während der Inspiration nach der Gleichung

$$CO_2 + C = 2\,CO$$

in Kohlenoxyd umgewandelt werden.

Diese Schlussfolgerung lässt sich noch durch die nachfolgenden Abhandlungen *c* und *d* stützen.

Die obige Frage dürfte hiermit ihre Entscheidung gefunden haben, denn die angeführten Daten beweisen zur Genüge, dass während der Inspiration, wo die Atrien, Luftsäcke und Alveolen der Lunge unter negativem Drucke stehen, in letzteren Kohlensäure zu Kohlenoxyd reduziert wird.

### c) Entstehung thätiger Expansivkraft während der Inspiration in den Atrien, Luftsäcken und Alveolen der Lunge.

In welcher Weise thätige Expansivkraft während der Inspiration in den Atrien, Luftsäcken und Alveolen der Lunge entstehen kann, lässt sich übersehen, wenn man den Bau des Endbronchus, die Mechanik der Atmung und die elektrolytische Aktion kennt, welche in den Atrien, Luftsäcken und Alveolen die Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd vermitteln.

Über den topographischen Aufbau der Endbronchien haben wir eingangs dieses

Abschnittes ausführlich gesprochen. Hier mag noch der mikroskopischen Anatomie des Endbronchus gedacht werden.

Jeder Endbronchus zeigt an seinem Ende eine keulenförmige Erweiterung; diese ist mit drei bis sechs rundlichen Öffnungen von ca. 0,2 mm Durchmesser versehen; dies sind die sogenannten Luftgänge. Jeder Luftgang enthält im Innern einen Schliessmuskel und führt die Inspirationsluft aus dem Endbronchus in das Atrium, welches durch ca. 0,145 mm breite Öffnungen (Luftsackgänge) mit dem Luftsack kommuniziert. Die Wand des Luftsackes ist eigentümlich gefaltet, so dass die Falten unregelmässig kleine Höhlen bilden. Die Atrien, Luftsäcke und Alveolen stehen vermittelst der Luftgänge mit dem Endbronchus in Verbindung. Diese Verbindung wird aber von Zeit zu Zeit gänzlich unterbrochen, wie die Mechanik der Atmung lehrt (S. 144).

Zur Erläuterung des mechanischen Vorganges, welcher die Öffnung und Schliessung der Luftgänge vermittelt, dient folgendes:

Die Mechanik der Atmung lehrt, dass die Luftgänge im Beginn der Inspiration offen stehen, und dass die Inspirationsluft aus dem Endbronchus durch die Luftgänge nach den Atrien, Luftsäcken und Lungenalveolen strömt.

Sobald, wie eine bestimmte Luftmenge die Luftgänge passiert hat, erfolgt die Schliessung der Luftgänge, wie die diesbezüglichen Beobachtungen erkennen lassen. Von Einzelheiten ist nachstehende Bemerkung von Wichtigkeit:

Der Schliessmuskel der Luftgänge besitzt spezifische Reizbarkeit und geht bei steigender Belastung im Moment der Überlastung aus dem thätigen Zustand in den ruhenden Zustand über. Wenn man durch den Endbronchus einen constanten Strom von mittlerer Stärke und Dauer sendet, so tritt eine Zuckung in den Schliessmuskeln der Luftgänge nur bei Schliessung und Öffnung des Stromes ein. Dieses Verhalten entspricht dem allgemeinen Gesetze über elektrische Reizung.

Da nun, der obigen Erklärung zufolge, die Luftelektricität vermittelst der Inspirationsluft in die Bronchien und von dort durch die Luftgänge in die Luftsäcke und Lungenalveolen geleitet wird, wobei dieselbe einen elektrischen Reiz auf den Schliessmuskel der Luftgänge ausüben kann, so muss auf Grund obigen Gesetzes unter dem Einflusse des elektrischen Reizes eine einmalige Zuckung des Schliessmuskels erfolgen, und zwar in dem Moment, wo die Inspirationsluft in die keulenförmige Erweiterung des Endbronchus und von hier in die Luftgänge eintritt und den Schliessmuskel der Luftgänge reizt.

Es können aber die Schliessmuskeln der gesamten Luftgänge durch die Inspirationsluft zu gleicher Zeit nicht gereizt werden, sondern es muss die Reizung derselben in bestimmter Reihenfolge vor sich gehen, weil die Inspirationsluft nach

und nach in den Luftwegen vordringt, so dass diejenigen Endbronchien und Lungenalveolen, welche der Lungenwurzel angehören, im Beginn der Inspiration, dagegen die, welche sich im Lungenrand befinden, am Ende der Inspiration mit frischer Luft beschickt werden.

Die Beziehungen zwischen der Reizung und Schliessung der geöffneten Luftgänge sind klar: eine momentane Schliessung der Luftgänge erfolgt stets nach der Reizung ihrer Schliessmuskeln durch die Inspirationsluft, welche vom Endbronchus durch die Luftgänge nach den Atrien und Luftsäcken der Lunge strömt.

Die Vorstellung, welche man sich über die Schliessung der Luftgänge während der Inspiration zu machen hat, ist folgende: Die Luftsäcke, Atrien und Lungenalveolen, welche im Beginn der Inspiration durch die geöffneten Luftgänge mit den Endbronchien in Verbindung stehen, werden während der Einatmung mit der Inspirationsluft in bestimmter Reihenfolge beschickt. Die offenen Luftgänge müssen sich in dem Moment, wo die Inspirationsluft auf dem Wege durch die Luftgänge den Schliessmuskel derselben berührt und dadurch einen Reiz auf denselben ausübt, schliessen, wodurch die Verbindung zwischen dem Bronchus und den Atrien, Luftsäcken und Lungenalveolen aufgehoben wird.

Beachtenswert hierbei ist, dass, nachdem eine Portion Inspirationsluft in die Atrien, Luftsäcke, Alveolen der Lunge eingedrungen ist, dieselben luftdicht abgeschlossen werden.

Unsere Vorstellung über den elektrochemischen Akt, dessen Kenntnis zum Versändnis der Entstehung thätiger Expansivkraft während der Inspiration in den Lungenalveolen beitragen möge, ist folgende:

Während die Luftgänge eines Lungenläppchens offen stehen, tritt die mit Luftelektricität beladene Inspirationsluft aus dem Bronchus durch die Luftgänge in die Atrien, Luftsäcke und Alveolen des Läppchens über. Die feuchte Inspirationsluft stellt, wie bekannt, einen guten Leiter für die Luftelektricität dar. Kommt nun die Luftelektricität mit der tierischen Elektricität in Berührung, was während der Inspiration in den Luftsäcken und Alveolen der Lunge geschieht, so entstehen so viel Ströme, als es Luftsäcke und Alveolen giebt. Die Beziehungen zwischen der Entstehung des elektrischen Stromes und der Schliessung der Luftgänge sind bekannt. Der elektrische Strom entsteht in den Luftsäcken und Alveolen nach Beschickung derselben mit frischer Luft und nach Schliessung der Luftgänge.

Durch den elektrischen Strom wird der Kohlenstoff ins Glühen versetzt, den die Luftsäcke und Lungen-Alveolen (S. 129) enthalten; da nun dieser Kohlenstoff im glühenden Zustande in Berührung kommt mit der Kohlensäure, welche sich in

den Luftsäcken befindet, so wird der Kohlenstoff in den Luftsäcken selbst nach der Gleichung

$$C + CO_2 = 2\,CO$$

in Kohlenoxyd umgewandelt.

Das Gas verdoppelt sein Volumen infolgedessen, und da nun die Luftgänge, welche die wesentliche Austrittspforte des naszierenden Gases bilden, geschlossen sind, so kann das Kohlenoxyd aus den Atrien, Luftsäcken und Lungenalveolen nicht entweichen; folglich steigt in letzteren die Spannung, welche thätige Expansivkraft deshalb genannt wird, weil die Atrien, Luftsäcke und Lungenalveolen durch die gesteigerte Spannung des Gases während der Inspiration in bestimmter Reihenfolge passiv erweitert werden.*)

Die hohe Spannung des naszierenden Gases nimmt also den Charakter thätiger Expansivkraft an, durch welche die Lunge lebenslänglich zur Arbeit veranlasst wird.

### d) Bildung der exspirierten Kohlensäure.

Im Zusammenhange mit dem Nachweise, dass während der Inspiration unter dem Einflusse tierischer Elektricität in den Lungenalveolen und Luftsäcken eine bestimmte Menge von Kohlensäure zu Kohlenoxyd reduziert wird, steht die Frage nach dem Ursprunge der exspirierten Kohlensäure, welche etwa vier Volumenprozent der Exspirationsluft beträgt.

Die Entscheidung dieser Frage lässt sich durch folgendes anstreben.

Wir haben in vorhergehendem Kapitel den Beweis dafür erbracht, dass während der Inspiration Kohlenstoff und Kohlensäure aus dem Körperinnern und elektrische Energie aus der Atmosphäre in die Luftsäcke, Lungenbläschen gelangen, wonach ihre Austrittspforte, die Luftgänge, sich schliessen und der Kohlenstoff unter dem Einflusse der elektrischen Energie in den Luftsäcken so erglüht, dass derselbe nach der Gleichung

$$C + CO_2 = 2\,CO$$

in Kohlenoxyd umgewandelt wird. Die bewirkte plötzliche Umwandlung von Kohlenstoff und Kohlensäure zu Kohlenoxyd übt im engen Raume selbstverständlich explosive chemische Wirkung aus, welche in mechanische Arbeit und in Bildung von Kohlensäure ausläuft.

---

*) Der modernen Atmungstheorie nach liegt der Schwerpunkt einer Wiederbelebung nicht in der Erregung der Herzthätigkeit, sondern in der Erregung der Elektricität in der Lunge. Denn durch die elektrische Energie wird die Kohlensäure der Reserveluft zu Kohlenoxyd reduziert; das Gas verdoppelt sein Volumen infolgedessen und nimmt den Charakter thätiger Expansivkraft an, durch welche die Lungenbläschen in bestimmter Reihenfolge ausgedehnt werden. Thatsächlich können die Atembewegungen an Leichnamen durch den elektrischen Strom hervorgebracht werden. Ure war der erste, welcher durch den elektrischen Strom Atembewegungen an Leichnamen hervorgerufen hat.

Zur Erläuterung letzterer Behauptung dient folgendes:

Das in den Luftsäcken und Lungenbläschen entstandene Kohlenoxyd nimmt in denselben den Charakter thätiger Expansivkraft an, durch welche die Luftsäcke, ihre Atrien und Lungenalveolen während der Inspiration so lange erweitert werden, bis die Luftgänge sich öffnen, wie die Mechanik der Atmung lehrt.

Nach Eröffnung der Luftgänge strömt das Kohlenoxyd aus den Alveolen, Luftsäcken und Atrien mit einer Geschwindigkeit von ca. 50 m in der Sekunde durch die in den Bronchien befindliche Luft. Infolgedessen kommt das Kohlenoxyd auf dem Wege durch die Bronchien mit dem Sauerstoff der Inspirationsluft in Berührung und geht durch weitere Verbindung mit 1 Atom Sauerstoff nach der Gleichung

$$CO + O = CO_2$$

in Kohlensäure über. Mit anderen Worten:

Die inspirierte Luft, welche sich in den Bronchien befindet, kann nicht von da durch die Trachea auf einmal exspiriert werden, indem der Durchmesser der Bronchien ca. 500mal grösser, als der der Luftröhre ist; deswegen findet in den Bronchien während der Exspiration eine Stauung der Luft, die in 100 Volumenteilen 20,81 Teile Sauerstoff enthält, statt. Da nun das Kohlenoxyd etwa doppelt so grosse Ausströmungsgeschwindigkeit, als Luft und Sauerstoff hat, so steht der Ansicht nichts entgegen, dass während der Exspiration das aus den Lungenalveolen strömende Kohlenoxyd mit dem eingeatmeten Sauerstoff in den Bronchien zusammentrifft und hier in Kohlensäure umgewandelt wird.

Man sieht leicht, worin sich die neue Theorie über die Bildung der exspirierten Kohlensäure von der Lavoisierschen unterscheidet, nach welcher in den Lungen eine hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehende Substanz ausgehaucht werden soll, welche beim Zusammentreffen mit dem eingeatmeten Sauerstoff in Kohlensäure und Wasser umgewandelt wird.

Die interessante Frage nach dem Ursprunge der exspirierten Kohlensäure dürfte hierdurch ihre Beantwortung gefunden haben; denn obige Daten lehren, dass im Beginn der Exspiration Kohlensäure in den Luftwegen gebildet wird, welche mit der Exspirationsluft die Luftwege verlässt.

### e) Veränderung der eingeatmeten Luft.

Vergleicht man die Zusammensetzung der In- und Exspirationsluft, so ergeben sich folgende Resultate:

1. Die Exspirationsluft ist an Sauerstoff ärmer als die Inspirationsluft, nämlich 100 Volumenteile Inspirationsluft enthalten 20,81 Teile Sauerstoff, dagegen 100 Volumenteile Exspirationsluft enthalten nur 16,03 Teile Sauerstoff. Diese Ver-

änderung der Inspirationsluft findet in folgendem ihre Erklärung: Der Sauerstoff der Atmosphäre strömt bei offenen Luftgängen aus den Bronchien in die Atrien, Luftsäcke und Lungenalveolen ein, von hier tritt der Sauerstoff in die Lungenvenen (S. 127) über. Auf diese Weise werden etwa fünf Prozente von dem inspirierten Sauerstoff dem Körper einverleibt. Der grösste Teil des inspirierten Sauerstoffes verbleibt in den Luftwegen, weshalb eine bestimmte Menge von Kohlenoxyd in den Bronchien während der Exspiration mit dem eingeatmeten Sauerstoff zusammentrifft, und das CO geht durch weitere Verbindung mit 1 Atom Sauerstoff in Kohlensäure über.

Es wird in den Bronchien also nur ein kleiner Teil des inspirierten Sauerstoffes verbraucht, gleichviel, ob die Inspirationsluft verdichtet oder verdünnt wird. Zur Rechtfertigung dieser Behauptung dient folgendes:

Verdichtung der respirierten Luft bis 1400 mm Hg., Vermehrung ihres Sauerstoffgehaltes bis über das Doppelte, Verdünnung der Atmosphäre oder Verminderung ihres Sauerstoffgehaltes bis zu dem Grade, dass die alveolare Sauerstoffspannung ca. 40 bis 45 mm beträgt, vermochte Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme nicht zu ändern (A. Loewy, Pflügers Archiv LVIII, S. 409).

Die Vorstellung, welche man sich über den Verbrauch des inspirierten Sauerstoffes auf Grund obiger Thatsachen zu machen hat, ist folgende:

In den Lungen werden etwa 4—5 Volumenteile des inspirierten Sauerstoffes verbraucht, indem ein Teil desselben in das Blut übertritt, während der andere durch Verbindung mit Kohlenoxyd in Kohlensäure übergeht (näheres siehe S. 139).

2. Die Exspirationsluft ist an Kohlensäure reicher, als die Inspirationsluft. Die Grösse dieser Veränderung geben nachstehende Zahlen (Valentin und Brunner):

In 100 Volumenteilen Inspirationsluft ist 0,04 $CO_2$
„ 100 „ Exspirationsluft ist 4,38 $CO_2$.

Diese Veränderung erklärt sich dadurch, dass während der Exspiration in den Bronchien Kohlensäure entsteht (S. 139). Die Menge der exspirierten Kohlensäure ist fortwährenden Schwankungen unterworfen, sie nimmt ab:

a) im Hungerzustande; b) in Dunkelräumen und um Mitternacht; c) im hohen Alter und beim Sinken der normalen Körpertemperatur; d) beim Atmen in Kohlensäureatmosphäre; e) nach dem Genusse von Spirituosen, Thee u. s. w.

Die Menge der exspirierten Kohlensäure nimmt zu:

a) von der Geburt bis zum 30. Lebensjahr; b) bei körperlicher Anstrengung und starker Muskelarbeit; c) nach der Aufnahme von Nahrung; d) in hellen Räumen und um Mittag (von 11—3 Uhr); e) während der Schwangerschaft; f) bei Steigerung der eigenen Temperatur.

Die Schwankungen der exspirierten Kohlensäure gehen mit den Schwankungen der tierischen Elektricitätsspannung in gleichem Schritt einher; als Beleg hierfür dient folgendes: Die Spannung der tierischen Elektricität ist in jenen Fällen, wo weniger Kohlensäure ausgeatmet wird, etwas geringer, als in diesen Fällen, wo die Menge der exspirierten Kohlensäure zunimmt. Hierdurch erklären sich diese Schwankungen folgendermassen: Unter dem Einflusse hochgespannter Elektricität bilden sich in den Luftwegen grössere Mengen von Kohlensäure, als wie gewöhnlich; sinkt diese Spannung aber, so kehrt sich das Verhältnis um.

3. Die exspirierte Luft ist gewöhnlich wärmer, als die inspirierte; es findet also in der Lunge eine Erwärmung der eingeatmeten Luft statt, wenn ihre Temperatur niedriger als die des Körpers ist. Ist die Temperatur der Inspirationsluft aber, wie es in den Tropen der Fall ist, höher als die Körpertemperatur, ca. 40° C, so kann in den Lungen sogar eine Abkühlung stattfinden, indem die Inspirationsluft sich bis auf die Körpertemperatur abkühlt (Steiner).

4. Die Exspirationsluft ist reicher an Wasserdämpfen, als die Inspirationsluft. Im allgemeinen ist die erstere für ihren Temperaturgrad mit Wasserdämpfen nahezu gesättigt. Der tägliche Wasserverlust durch die Lungen beträgt etwa 540 g. Hierin liegt ein weiterer Beweis dafür, dass eine beträchtliche Wasserverdunstung in den feinen Pulmonalarterien (S. 118) stattfindet, aus welcher der Wasserdampf in die Luftwege gelangt, wo sich die Inspirationsluft mit demselben sättigt.

5. Die Exspirationsluft ist an Stickstoff reicher als die Inspirationsluft. Als Beleg hierfür dient folgendes: Valentin und Brunner fanden in 100 Volumenteilen Inspirationsluft 79,15 Volumenteile Stickstoff und in 100 Volumenteilen Exspirationsluft 79,55 Volumenteile Stickstoff. Wie der Stickstoff aus dem Körperinnern in die Lunge gelangen kann, um durch die Lunge ausgeschieden werden zu können, ist aus den Betrachtungen „Einnahmen der Lungenvenen an flüchtigem Ernährungsmaterial“ (s. S. 128) zu ersehen.

6. Die Exspirationsluft enthält Spuren von Ammoniak, Wasserstoff, Grubengas und organischen Substanzen (s. S. 129). In welcher Weise diese Stoffe aus dem Körperinnern in die Lunge gekommen sind, ist durch Figur XV deutlich klargelegt.

7. Das Volumen der exspirierten Luft ist grösser als das Inspirationsvolumen. Diese Volumenzunahme ist eine Folge der Temperaturerhöhung und der Sättigung der Exspirationsluft mit Wasserdämpfen, welchen sich vorerwähnte Stoffe zugesellen.

So wie man früher den Gaswechsel in der Lunge schematisiert hat, gestaltet sich derselbe also nicht, um so weniger, als die exspirierte Kohlensäure nicht aus dem Blute stammt, sondern in den Luftwegen selbst gebildet wird. Wir wissen

jetzt, dass jenes Schema, demzufolge Sauerstoff der Inspirationsluft ausschliesslich ins Blut übertreten soll, insofern irrig ist, als inspirierter Sauerstoff mit dem Kohlenoxyd in den Luftwegen zusammentrifft und da in Kohlensäure übergeht, so dass nur ein unbedeutender Teil des inspirierten Sauerstoffes ins Blut gelangt.

### f) Wärmebildung in der Lunge.

Nachdem Lavoisier zuerst gelehrt hatte, dass jede Verbrennung mit Sauerstoffverbrauch einhergeht (1789), hatte er auch die Atmung als eine einfache Verbrennung gedeutet und zuerst die tierische Wärme als Folge dieser Verbrennung aufgefasst, deren Sitz er ausschliesslich in die Lunge verlegte.

Indessen ist nunmehr sicher erkannt, dass nur ca. 3—10% von der Wärme, welche der Tierkörper hat, in der Lunge produziert wird.

Mehr als anderswo ist es in den Bronchien der thätigen Lunge möglich, durch klare und richtige Vorstellung des elektrosynthetischen Geschehens eine deutliche Einsicht in die Einzelheiten der tierischen Wärmeproduktion zu gewinnen. Die Bronchien bilden einen kegelförmigen Raum, dessen Spitze die Trachea und dessen Basis die Endbronchien darstellen. Wir begleiteten in der vorletzten Abhandlung das Kohlenoxyd von seinem Entstehen bis zu seinem Uebertritt in die Bronchien. Es wurde dort hervorgehoben, dass das Kohlenoxyd in den Bronchien durch weitere Verbindung mit einem Atom Sauerstoff zu Kohlensäure übergeht.

Da nun Kohlenoxyd, wenn es mit Sauerstoff zu Kohlensäure oxydiert, eine sehr hohe Temperatur erzeugt, so sagt uns schon die einfache Ueberlegung, dass die Oxydation des Kohlenoxyds zu Kohlensäure, die unter dem Einflusse tierischer Elektricität in den Bronchien während der Exspiration vor sich geht, tierische Wärme produziert.

Wir kennen eine Reihe von Erscheinungen, welche zu Gunsten obiger Ansicht sprechen; dahin gehören:

1. die eigene Temperatur steigt, wenn die Zahl der Atemzüge zunimmt; mit dieser Temperatursteigerung nimmt der Prozentgehalt der absoluten Kohlensäuremenge, die durch die Lunge ausgeschieden wird, zu;

2. bei Kindern und jungen Tieren ist die Zahl der Atemzüge grösser, als bei Erwachsenen; Kinder und junge Tiere produzieren, auf die Einheit des Körpergewichtes berechnet, fast doppelt so viel Kohlensäure, als Erwachsene, deshalb ist auch ihre Eigenwärme eine höhere;

3. die Menge der exspirierten Kohlensäure steht in einem bestimmten Verhältnis zur tierischen Wärme; ebenso verhält sich die Menge des absorbierten Sauerstoffes: nach Regnault und Reiset absorbiert ein kg Kanninchen in einer Stunde

0,914 g Sauerstoff und hat eine Durchschnittstemperatur von 38° C, während ein kg Huhn 1,186 g Sauerstoff absorbiert und eine Körpertemperatur von 43,9° C besitzt.

Da alle diese Thatsachen für die obige Ableitung sprechen, dass die tierische Wärme in der Lunge durch Oxydation des Kohlenoxydes zu Kohlensäure entsteht, so brechen wir unsere Betrachtung über die Wärmebildung hier ab, um auf dieselbe bei passender Gelegenheit zurückzukommen und gehen zur Mechanik der Atmung über.

## 2. Mechanik der Atmung.

Unsere Beobachtungen und Versuche, welche zur Ermittelung der Aufgabe der Atmungsmechanik angestellt wurden, führten zur Auffindung einer Reihe von mechanischen Vorgängen, die neben der Atmung einhergehen; dahin gehören:

a) Öffnung und Schliessung der Luftgänge; b) Bewegungen der Lunge; c) Bewegungen des Zwerchfelles, d) Bewegungen der Bauch- und Brustwand; e) Bewegungen des Kehlkopfes, f) Bewegungen der Nasenflügel; g) Schliessung und Öffnung der Stimmritze.

### a) Öffnung und Schliessung der Luftgänge.

Der mechanische Vorgang, welcher die Öffnung und Schliessung der Luftgänge vermittelt, gehört zu den jüngsten Entdeckungen der physiologischen Forschung.

Um diesen Vorgang im grossen und ganzen übersehen zu können, erscheint es uns zweckmässig bei der Betrachtung desselben von dem anatomischen Bilde der Luftgänge auszugehen.

Die Luftgänge sind rundliche Öffnungen von ca. 0,2 mm Durchmesser, und jeder Endbronchus ist mit drei bis sechs solcher Luftgänge versehen. Die Luftgänge führen in kleine unregelmässig gestaltete Räume, sogen. Atrien, welche durch die sogen. Luftgänge mit den Luftsäcken und Alveolen in Verbindung stehen (s. S. 113, Fig. XVI). Jeder Luftgang besitzt im Innern einen Schliessmuskel (Klappe), durch welchen der Luftgang geschlossen wird. Hiernach ist auch erklärlich, dass wir uns hier mit folgenden Fragen zu beschäftigen haben:

1. Durch welche Kräfte werden die geschlossenen Luftgänge im Beginn der In- und Exspiration geöffnet?

2. Schliesst sich jeder Luftgang nach Durchlass einer bestimmten Luftmenge während der In- und Exspiration?

Das zur Aufklärung der ersten Frage geeignete Material möge hier folgen: Werden die Schliessmuskeln der Luftgänge durch den Luftdruck überlastet, so erfolgt Öffnung der Luftgänge. Die Art, wie die Überlastung bei der Inspiration und im Beginn der Exspiration geschieht, lässt sich ermitteln auf Grund folgender Thatsachen:

Wir stellten im vorhergehenden Kapitel fest, dass sich am Ende jeder Exspiration in den feineren Lungenvenen ein Saugraum von 23 mm bildet, in den flüchtige Körper aus den Atrien, Luftsäcken und Lungenalveolen übertreten. Nachdem eine bestimmte Menge von flüchtigen Körpern den Atrien, Luftsäcken und Lungenalveolen durch die saugenden Lungenvenen entzogen wurde, stellt sich bei geschlossenen Luftgängen in denselben ein negativer Druck von ca. 23 mm ein, während ein positiver Druck in den Endbronchien herrscht. Also entsteht im Beginn der Inspiration zwischen dem Endbronchus und den Atrien, Luftsäcken und Alveolen eine momentane Druckdifferenz von ca. 23 mm; unter dem Einflusse dieser Druckdifferenz öffnen sich im Beginn der Inspiration die Klappen sämtlicher Luftgänge, indessen gerät die Luft in Bewegung und muss von den Punkten höheren Druckes (Endbronchien) zu den Punkten niederen Druckes (Atrien, Luftsäcke, Alveolen) strömen. Sobald eine bestimmte Luftmenge aus den Endbronchien in die Atrien, Luftsäcke durch die geöffneten Luftgänge passierte, schliessen sich, wie nachstehend erklärt, die Luftgangsklappen, und der Druck steigt in den Luftsäcken, Atrien infolge der Kohlenoxydbildung (s. S. 135) über den atmosphärischen. Dieser gesteigerte Druck überwindet die Elasticität der Luftsäcke und Alveolen der Lunge und dehnt dieselben während der Inspiration, so lange nicht der Brustkorb der Ausdehnung einen Widerstand entgegensetzt, aus. Je früher der Brustkorb der Lungenausdehnung einen Widerstand entgegensetzt, desto kürzer ist die Inspirationsphase. In dem Moment, wo die Luftsäcke, Atrien und Lungenalveolen in ihrer Ausdehnung gehemmt sind, steigt der Druck in denselben etwa 87 mm über den Luftdruck des Endbronchus. Unter dem Einflusse dieser Druckdifferenz öffnen sich im Beginn der Exspiration die Klappen der Luftgänge.

Hiernach würde die Antwort auf obige Frage lauten: Durch die Druckdifferenz, welche im Beginn der In- und Exspiration zwischen dem Endbronchus einerseits und den Atrien, Luftsäcken und Alveolen andererseits entsteht, werden die Klappen der Luftgänge passiv geöffnet, so dass ein Luftstrom durch die Luftgänge passieren kann.

Schliesst sich jeder Luftgang nach Durchlass einer bestimmten Luftmenge während der In- und Exspiration?

In Erledigung dieser Frage führen wir nachstehende Daten an:

Bläst man Luft in die blosgelegte Lunge ein, so bemerkt man, dass die Lungenläppchen sich hierbei nicht alle zu gleicher Zeit, sondern in bestimmter Reihenfolge aufblähen. Der Reihe nach blähen sich nämlich zuerst die Läppchen der Lungenwurzel, dann die Läppchen der Lungenspitzen und endlich die Läppchen des Lungenrandes auf. Hieraus ist zu ersehen, dass die Lufträume der Lunge (Atrien, Luftsäcke, Alveolen) in bestimmter Reihenfolge mit der Inspirationsluft beschickt werden.

Dass die Luftgänge im Beginn der Inspiration auf einmal geöffnet werden, haben wir oben festgestellt, und dass der Schliessmuskel der Luftgänge auf jede Reizung mit einer Zuckung antwortet, ist eingangs dieses Kapitels erläutert worden. Um die Luftsäcke und Alveolen mit Luft zu füllen, strömt Luft aus dem Endbronchus durch die Luftgänge in die vorerwähnten Lufträume hinein. Durch diesen Luftstrom wird nun der Schliessmuskel der Luftsäcke gereizt und zur Kontraktion (Zuckung) veranlasst. Der Luftgang wird durch die Kontraktion seines Schliessmuskels geschlossen. Die Schliessung der sämtlichen Luftgänge kann nicht während der Inspiration gleichzeitig, sondern nur in bestimmter Reihenfolge geschehen, weil die Inspirationsluft nach und nach in den Bronchien vordringt.

Behufs der Entleerung der Atrien, Luftsäcke und Alveolen der Lunge strömt die Exspirationsluft aus denselben durch die geöffneten Luftgänge heraus, um in die Bronchien zu gelangen. Durch diesen Luftstrom wird der Schliessmuskel der Luftgänge während der Exspiration gereizt und zur Kontraktion veranlasst, wodurch die Schliessung der Luftgänge bedingt ist. Hiernach erklärt sich auch die Thatsache, dass nach ruhiger Ausatmung erhebliche Mengen von Luft in den Lufträumen der Lunge zurückbleiben.

Die vorstehende Frage lässt sich nun auf Grund obiger Erfahrung dahin entscheiden, dass die Luftgänge nach Durchlass einer bestimmten Luftmenge sich schliessen, wodurch gewissermassen die Lungenalveolen vor schädlicher Überfüllung mit Inspirationsluft geschützt werden.

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so würde unsere Vorstellung über die Öffnung und Schliessung der Luftgänge lauten: Die Schliessmuskeln der Luftgänge lassen im Beginn der In- und Exspiration, wo sie unter dem Einflusse der gegebenen Druckdifferenz stehen, nach, und aus diesem Grunde werden sämtliche Luftgänge im Beginn der Exspiration auf einmal geöffnet, um sich während der Exspiration nach Durchlass einer bestimmten Luftmenge successive zu schliessen; auf ähnliche Art und Weise öffnen sich die Luftgänge auf einmal im Beginn der Inspiration, um sich während der Inspiration in bestimmter Reihenfolge zu schliessen.

### b) Bewegungen der Lunge.

Bei der Frage nach der Entstehung der Bewegungen der Lunge kommen folgende zwei Punkte in Betracht:

1. Erweitert der atmosphärische Druck oder die Spannung des Kohlenoxydes, das in den Lufträumen der Lunge während der Inspiration sich bildet, die Luftsäcke und Alveolen der Lunge?

2. Welche Kraft zieht die erweiterten Luftsäcke und Lungenalveolen während der Exspiration zusammen?

1. Welche Kraft erweitert die Atrien, Luftsäcke und Lungenalveolen? Die Beantwortung dieser Frage ergiebt sich aus folgendem:

Wenn man bei einem Versuchstiere die Rippenpleura in genügender Ausdehnung freilegt, so sieht man die Lunge ab und aufsteigen, indem sie den Formveränderungen des Thorax entsprechende Bewegungen ausführt. Wird nun dieser Versuch dahin verändert, dass man bei demselben Tiere ein kleines Fenster (2–4 Quadratcentimeter) in der Rippenpleura anlegt, so bemerkt man bei jeder Inspiration, dass durch das Fenster ein Teil der Lunge aus dem Brustkorb heraustritt. Wenn man nun über dieses Fenster den Druckhebel des Reimann'schen Lungendruckmessers so fixiert, dass der Hebel auf die Oberfläche der Lunge drückt und somit der Lungenaufblähung einen Widerstand leistet, so zeigt die Skala des Lungendruckmessers den Druck, welchen die Lunge während ihrer Ausdehnung auf die Brustwand ausübt, an. Im Mittel beträgt dieser Druck 35 mm Hg. bei erwachsenen Tieren, während die Lunge junger Tiere fasst doppelt so starken Druck auf die Brustwand ausübt.

Durch diese Versuche haben wir den eigentlichen Wert der thätigen Expansivkraft, die während der Inspiration infolge der Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd in den Luftsäcken und Lungenalveolen (s. S. 135) entsteht, kennen gelernt, welche als Ursache der Erweiterung der Atrien, Luftsäcke und Alveolen der Lunge anzusehen sei.

Solange man den feineren Bau der Lunge und die Elektrochemie der Atmung ignorierte, stand allerdings die Ansicht unumstösslich fest, dass die der Wandung des Brustkorbes dicht anliegende Lunge der Brustkorberweiterung folge und deshalb einen grösseren Raum einnehme, in welchen sofort die atmosphärische Luft zur Herstellung des Gleichgewichtes einströmt. Mit dieser alten Anschauung steht aber obiger Befund im Widerspruch, der gewiss schwer ins Gewicht fällt bei Entscheidung obiger Frage. Denn ruft man sich die zuvorbehandelten Punkte ins Gedächtnis zurück, so muss man die vorerwähnte Frage auf Grund der angeführten Daten dahin entscheiden, dass durch die thätige Expansivkraft die Lufträume der Lunge (Atrien, Luftsäcke und Alveolen) während der Inspiration in bestimmter Reihenfolge erweitert werden (näheres über die Entstehung thätiger Expansivkraft s. S. 136).

2. Welche Kraft zieht die erweiterten Luftsäcke, Atrien und Alveolen der Lunge zusammen? Die Antwort auf diese Frage giebt uns folgende Betrachtung:

Aus dem Steigen des in die Trachea einer Leiche luftdicht eingeführten Manometers beim Eröffnen der Brusthöhle folgt, dass die Lunge das Bestreben hat, sich zusammenzuziehen. Die Atrien, Luftsäcke und Lungenalveolen würden sich am Ende der Exspiration über die Norm zusammenziehen, wenn nicht durch rechtzeitigen Ver-

schluss der Luftgänge etwa 1200 cbcm von rückständiger Luft in denselben zurückgehalten würden.

Aus diesem fortwährenden Bestreben der Lunge, sich zusammenzuziehen, muss schon, abgesehen von allen anderen Faktoren, sobald die hohe Spannung aus den Alveolen der Lunge entweicht, auf jede Lungenausdehnung die Zusammenziehung der Lunge folgen.

Die Zugkraft der Lunge beträgt bei ruhiger Ausatmung 7,5 mm Hg. (Donders); wurde vorher eine grössere Menge Luft entsprechend einer tiefen Inspiration in die Lunge einer Leiche eingeblasen, so kann sie 30 mm Hg. betragen, und diese Zugkraft würde schon unter normalen Verhältnissen vollkommen genügen, um die Lungenbläschen und Luftsäcke während der Exspiration zusammenzuziehen.

Den mechanischen Vorgang, welcher die Bewegung der Lungen lebenslänglich vermittelt, kann man kurz durch folgenden Satz ausdrücken.

Die thätige Expansivkraft, welche während der Inspiration in den Lufträumen der Lunge (Atrien, Luftsäcke und Alveolen) durch elektrochemische Prozesse erzeugt wird, dehnt die Lunge, d. h. die Lufträume der Lunge, während der Inspiration mehr oder weniger aus, wobei die elastischen Wände der Lufträume den Charakter einer Zugkraft erlangen, mittels welcher die erweiterten Lufträume während der Exspiration zusammengezogen werden.

### c) Bewegungen des Zwerchfells.

In jüngster Zeit erhob sich die interessante und bisher vollkommen rätselhafte Frage, welches denn die Ursache sei, die die Bewegungen des Zwerchfells vermittele? In vorhergehender Abhandlung haben wir festgestellt, dass die Lunge durch thätige Expansivkraft ausgedehnt wird. Ist nun diese Expansivkraft stärker, als die Muskelkraft des Zwerchfells, so kann nichts den Schluss entwerten, dass das Zwerchfell sich infolge der Lungenausdehnung nach unten bewegt. Die Aufklärung hierüber scheinen uns folgende Versuche zu geben:

Erster Versuch: Einem Versuchstiere wurde in tiefer Narkose die Thoraxhöhle geöffnet, um die Bewegungen des Zwerchfells zu studieren; auf Grund der bestehenden Theorie hätte man zu erwarten, dass nach Öffnung der Brusthöhle die Zwerchfellbewegungen ebenso, wie die Darmbewegungen nach Öffnung der Bauchhöhle einige Zeit vor sich gehen würden. Indes zeigte das Experiment, dass das Zwerchfell, wenn es vom Lungenrand etwas absteht, keine Bewegung ausführt, sondern dass es kuppelförmig mit seinem Centrum tendineum auf der Höhe in die Brusthöhle umsomehr hineinragt, je mehr die Verdauungsorgane gefüllt sind. Jeder Druck, der auf die Bauchdecke ausgeübt wird, überträgt sich auf das Zwerchfell; man kann daher

durch periodisch wiederkehrende Steigerung des abdominellen Druckes Wölbung und Abflachung des Zwerchfells hervorrufen.

Ein zweiter Versuch, in dem einem Kaninchen die Bauchhöhle geöffnet, und das Zwerchfell blosgelegt wurde, lehrt, dass die Bewegungen des Zwerchfells infolge der Ausdehnung und Zusammenziehung der Lunge entstehen. Wird nämlich im obigen Versuche, wo die Atmungs- und Zwerchfellbewegungen normal vor sich gehen, die Luftzufuhr zu der Lunge sistiert, so hören die Lungenbewegungen und Zwerchfellbewegungen auf, während sie sich beide von neuem einstellen, wenn frische Luft in die Lunge eingeführt wird, und die Atmung wiederum sich einstellt.

Da nun das Zwerchfell auf der zwischen dem Schwertfortsatz und den benachbarten Rippenknorpeln sich ausbreitenden Stelle blos aus den serösen Häuten der Brust- und Bauchhöhle besteht, so sagt uns schon die einfache Überlegung, dass die Kräfte des Zwerchfells minderwertiger sind, als die Expansivkraft der Lunge. Der weitgehendste Beweis für diese Behauptung ergiebt sich aus der durch C. Lehmann, J. Munk, H. Senator und Zuntz festgestellten Thatsache, dass im Hunger, wo sich die Lunge mehr nach unten ausdehnt, das Zwerchfell dementsprechend mehr nach unten rückt, so dass die untere Lungengrenze um die Breite einer Rippe tiefer tritt (Virchow's Archiv 1893 C XXXI Suppl. Seite 1).

Von grossem Interesse sind nachstehende hierher gehörige Daten:

An sämtlichen Muskeln beobachtet man zwei Zustände: den Zustand der Ruhe und den Zustand der Thätigkeit. Jeder Muskel ermüdet mit der Dauer seiner Thätigkeit, und aus diesem Grunde allein müsste schon die bisherige Lehre von der kontinuierlichen Zwerchfellthätigkeit als irrig bezeichnet werden.

Wenn man sich nun an diese vorgeführten Daten hält, so kommt man zu folgendem Schlusse:

Das Zwerchfell wird indirekt durch die Expansivkraft, welche in der Lunge während der Inspiration durch elektrochemische Prozesse (s. S. 135) erzeugt wird, während der Einatmung mehr oder weniger nach unten bewegt, wobei der abdominale Druck steigt, durch welchen das Zwerchfell während der Exspiration wiederum gehoben wird.

### d) Die Bewegungen der Bauch- und Brustwand.

Die Atembewegungen sind von stetigen räumlichen Veränderungen des Bauch- und Brustraumes begleitet. Die Gesamtheit der Formveränderungen, welche in den verschiedenen Zuständen während eines Atemzuges an Brust und Bauch beobachtet werden, stellt den Atemtypus des Individuums dar.

Der Atemtypus der Frauen ist bei ruhiger Atmung ein anderer, als bei Männern. Bei letzteren nämlich sieht man während der Inspiration fast gar keine Rippenbe-

wegung, sondern nur eine Hervorwölbung der Oberbauchgegend, welche durch das Herabsteigen der Lungen hervorgerufen ist; man nennt diesen Atemtypus den Abdominaltypus. Bei Frauen überwiegt dagegen bei ruhiger Atmung die Bewegung der Rippen, welche durch die Lungenausdehnung hervorgerufen ist; die Hervorwölbung der Oberbauchgegend ist nur gering, namentlich bei Frauen, die beengende Korsets tragen, die grösste Umfangzunahme zeigt die Gegend oberhalb der Brustwarzen (Wogen des Busens). Dieser Atemtypus heisst der Kostaltypus. Wenn sich die Atemzüge vertiefen, so verwischen sich diese Unterschiede und fallen endlich bei möglichst tiefer Inspiration weg; man nennt diesen gemischten Atmungstypus den Kostalabdominaltypus. Im Schlafe wird bei beiden Geschlechtern die Atmung thorakal (Masso).

Eine der best erwiesenen Thatsachen ist die, dass die sogen. Inspirationsmuskeln bei tiefer oder angestrengter Inspiration die Rippen heben, um grösseren Raum für die Lungenausdehnung zu machen, während die sogen. Exspirationsmuskeln bei der forzierten Exspiration in Thätigkeit treten, um die Senkung der Rippen zu ermöglichen.

Des Weiteren auf die Thätigkeit der Atemmuskeln einzugehen, verbietet uns nicht nur der Raum, den wir der Mechanik der Atmung, deren Hauptinteresse immerhin zumeist nach der rein mechanischen Seite liegt, zumessen können, als auch der Umstand, dass man bei sachgemässer Behandlung der Muskelthätigkeit von der Elektrochemie der Nerven ausgehen muss, um die Entstehung der sogen. Muskelkräfte zu veranschaulichen. Wie und woraus die Muskelkräfte entstehen und wie dieselben im Muskel wirken, darüber später.

### e) Bewegungen des Kehlkopfes.

Wenn man den Kehlkopf eines Menschen beobachtet, so sieht man, dass derselbe bei jeder Inspiration um einige Millimeter sinkt und bei jeder Exspiration um gleichviel steigt. Je mehr die Lunge sich ausdehnt, desto tiefer sinkt der Kehlkopf. Diese Erscheinung findet im folgenden ihre Erklärung:

Die Verschiebung der Lungenläppchen geschieht nach unten und nach vorn; unbeweglich bleiben jedoch die äusseren Läppchen, welche der Spitze und den unteren Rand der Lunge angehören, während die Lungenpartien, welche oberhalb der beiden Luftröhrenäste angeordnet sind, sich von oben nach unten verschieben. Bei dieser Verschiebung werden die Bronchi um gleichviel von oben nach unten verschoben, weil dieselben die Summe der Ausdehnungen der oberhalb ihnen gelegenen Läppchen mitmachen müssen.

Da nun der Kehlkopf mit der Luftröhre verbunden ist, und da letztere bei der

Verschiebung der Bronchi herabsteigt, so wird der Kehlkopf bei der Inspiration umsomehr nach unten gezogen, je tiefer die Atemzüge sind.

Während sich der Kehlkopf nach unten bewegt, dehnen sich die Muskeln sternothyreoideus, thyreohyoideus und die übrigen von dem Zungenbein entspringenden Muskeln aus. Infolge dieser Ausdehnung erlangen die Muskeln des Kehlkopfes den Charakter einer Zugkraft, durch welche der Kehlkopf während der Exspiration gehoben wird.

Durch Zusammentreffen obiger Faktoren, die sich gesetzmässig unterstützen, wird also der Kehlkopf bewegt.

### f) Bewegungen der Nasenflügel.

Die Atembewegungen, welche der Brustkorb ausführt, werden von den sogen. „konkomitierenden Atembewegungen der Nasenflügel" begleitet. Bei jeder Inspiration werden die Nasenlöcher verengt, dagegen bei jeder Exspiration werden die verengerten Nasenlöcher wiederum erweitert. Diese Erscheinung erklärt sich durch den Druckwechsel, der bei jedem Atemzuge in der Lunge stattfindet.

### g) Schliessung und Öffnung der Stimmritze.

Die Stimmritze ist während des ruhigen Atmens weit geöffnet und bildet eine länglich ovale Spalte. Der Vorgang der Schliessung der Stimmritze ist einfach:

Die Muskeln thyreopiglotticus und aryepiglotticus, indem sie sich unter dem Einflusse eines Reizes zusammenziehen, ziehen gleichzeitig den Kehlkopfdeckel abwärts und rückwärts gegen die obere Mündung des Kehlkopfes, wodurch diese geschlossen wird.

Diese Muskeln reagieren auf mechanische, chemische und physiologische Reizung. Der mechanische Reiz, der während des Trinkens und Schlingens entsteht und die Muskeln zur Thätigkeit veranlasst, bekundet sich nachweislich darin, dass die Stimmritze während des Schluckens und Schlingens geschlossen ist.

Der chemische Reiz, der infolge der Inspiration gewisser Gase, wie Ammoniak, Chlor u. s. w. zu stande kommt, erregt die Muskeln so heftig, dass dieselben eine krampfhafte Verschliessung der Stimmritze hervorrufen.

Der physiologische Reiz, der die Muskeln zur Thätigkeit veranlasst, ist der sogen. Willensreiz. Der Wille vermag durch Verschliessung der Stimmritze die Anzahl der Atemzüge zu verändern, und zwar sie zu verringern, zu vermehren oder sie vollständig aufhören zu machen, indes nur auf kurze Zeit, denn die Muskeln ermüden und der hohe intrapulmonelle Druck oder die hohe Saugkraft der Lunge löst gegen den Willen die nächste Atembewegung aus. Über die Entstehung des physiologischen Reizes werden wir bei nächster Gelegenheit sprechen.

### 3. Ursache der In- und Exspiration.

Die Atmung, dem Willenseinfluss meistenteils entzogen, ist ein rhytmischer Vorgang, der abhängig ist:

1. von dem Sinken des intrapulmonellen Luftdruckes unter den atmosphärischen, das seinerseits bedingt ist durch die Einnahmen der Lungenvenen an Bestandteilen der Reserveluft (s. S. 127—128). Wenn der Luftdruck in den Lufträumen der Lunge (Atrien, Luftsäcke und Alveolen) unter den atmosphärischen sinkt, dringt Luft aus der Atmosphäre bei offener Glottis in die Lunge ein. Die Druckdifferenz, welche im Beginn der Inspiration zwischen den Lufträumen der Lunge und der Atmosphäre entsteht, sieht die moderne Physiologie als die Ursache der Inspiration an. Diese respiratorische Druckdifferenz wird nach Eintritt einer bestimmten Luftmenge in die Lufträume der Lunge sistiert.

Die Sistierung der respiratorischen Druckdifferenz ist abhängig:

2. von dem Verschluss der Luftgänge, der seinerseits bedingt ist durch den Reiz, welchen die Inspirationsluft auf den Schliessmuskel der Luftgänge ausübt.

Zur Erläuterung dieses Vorganges möge folgendes dienen:

Die Luftgänge führen die Inspirationsluft aus den Endbronchien in die Lufträume (Atrien, Luftsäcke und Alveolen s. S. 113) ein; der Luftstrom berührt hierbei den Schliessmuskel der Luftgänge; durch diese Berührung wird der Schliessmuskel erregt, und infolgedessen zieht er sich zusammen. Mit seiner Zusammenziehung erfolgt der Verschluss der Luftgänge und zwar während der Inspiration (s. S. 144). Mit beginnender Exspiration werden die geschlossenen Luftgänge wieder geöffnet.

Die Öffnung der Luftgänge ist abhängig:

3. von der Entstehung einer thätigen Expansivkraft in den Lufträumen der Lunge, die ihrerseits bedingt ist durch die elektrochemischen Prozesse, welche eingangs dieses Abschnittes ausführlich besprochen worden sind. Es ist dort erklärt worden, dass während der Inspiration durch die Expansivkraft die Lufträume der Lunge ausgedehnt werden. Da nun der Brustkorb am Ende der Inspiration der Lungenausdehnung einen Widerstand entgegensetzt, so steigt der Druck in den Atrien, Luftsäcken und Alveolen der Lunge nach vollendeter Inspiration rasch um ca. 35 mm über den atmosphärischen. Also entsteht zwischen den Atrien, Luftsäcken und Lungenalveolen einerseits und der Atmosphäre anderseits eine zweite Druckdifferenz, die als Ursache der Exspiration anzusehen sei; denn sie hat zur Folge, dass die Luftsäcke gewaltsam geöffnet werden und der Inhalt der Lufträume der Lunge in Bewegung gerät und von den Orten höherer Spannung (Atrien, Luftsäcke und Alveolen) nach dem Orte niederer Spannung (Atmosphäre) strömt. Diese

Strömung ist allgemein unter dem Namen „Exspiration“ bekannt. Die Exspiration dauert länger bei Erwachsenen, als bei Kindern.

Die Dauer der ruhigen Exspiration ist abhängig:

4. von der Grösse der Luftsäcke der Lunge; Kinderlungen haben kleinere Luftsäcke, als die Lunge von Erwachsenen. Daher ist die Exspirationsphase bei Kindern und jungen Tieren kürzer, als bei Erwachsenen.

Der Vorgang, welcher die Atembewegungen vermittelt, vollzieht sich unter gewöhnlichen Verhältnissen rein automatisch, und zwar bei Erwachsenen etwa 18mal, bei Kindern 26mal, bei Neugeborenen 44mal in der Minute. Die Atembewegungen werden aber nicht, wie man bisher glaubte, durch das Atmungscentrum angeregt.

Zur Rechtfertigung dieser weitgehenden Behauptung möge Nachstehendes dienen:

Als Flourens gefunden hatte, dass die Verletzung einer zirkumskripten Stelle in der Med. oblongata augenblicklichen Tod zur Folge hat, glaubte er das vermeintliche Atmungscentrum, welches die Atembewegungen anregen sollte, entdeckt zu haben; indes hat Gad das Flourens'sche Atmungscentrum (noeud vital) in sehr vorsichtiger Weise herausgetrennt, ohne die Atembewegungen beeinflusst zu haben.

Da wir nun wissen, dass die Atembewegungen durch abwechselnde Thätigkeit der vorerwähnten Druckdifferenzen bedingt sind; da wir wissen, dass der thätige Nerv bald ermüdet, so sagt uns schon die einfache Überlegung, dass die ruhigen Atembewegungen nicht von der Nerventhätigkeit abhängen, sondern von der periodischen Entstehung der Expansivkraft, durch welche laut vorhergehender Feststellung die Lunge während jeder Inspiration passiv entfaltet wird.

An dieser Stelle mögen noch folgende hierher gehörigen Versuche in unserer Betrachtung gezogen werden:

Wird der N. vagus am Halse einseitig durchgeschnitten, so sieht man keine Veränderung der Atembewegungen eintreten. Wenn beide Vagi durchtrennt werden, so sinkt die Atemfrequenz; aus diesem Versuch folgt, dass die Atmung auch ohne die Thätigkeit der N. vagi vor sich gehen kann. Weshalb die Atemfrequenz nach Durchschneidung beider Vagi sinkt, soll später bei Besprechung der Nervenfunktion erklärt werden.

Die Vorstellung, welche man sich aus dem Gesagten über die Entstehung der rhytmischen Atembewegungen zu machen hat, ist folgende: Unter dem Einflusse der Druckdifferenz, welche aus vorerwähntem Grunde am Ende jeder Exspiration zwischen den Lungengefässen und der Atmosphäre entsteht, strömt eine bestimmte mit Luftelektricität beladene Luftmenge in die Lunge ein, die Luftelektricität veranlasst die Entstehung einer zweiten Druckdifferenz zwischen der Lunge und Atmosphäre, durch

welche eine bestimmte Luftmenge aus der Lunge fortgeschafft wird, was den Anstoss zur Entstehung der erstgenannten Druckdifferenz giebt.

Also muss jeder Inspiration eine Exspiration folgen.

### 4. Ursache des vesikulären Atmungsgeräusches.

Legt man das Ohr direkt oder indirekt (mit Hilfe des Stethoskops) an die Brust, so hört man ein klangartiges Geräusch von zischendem Charakter, das man „vesikuläres Atmungsgeräusch“ nennt.

Bei der Frage nach der Ursache des vesikulären Atmungsgeräusches kommt die Gasentwickelung in der Lunge in Betracht.

Die Art, wie sich Gase in der Lunge entwickeln, ist in diesem Abschnitte ausführlich beschrieben worden. Wir brachten nämlich in diesen Kapitel den Nachweis dafür, dass die Luftsäcke und Lungenalveolen während der Inspiration in bestimmter Reihenfolge durch plötzliche Gasentwickelung erweitert werden. Da nun die Luftsäcke und Alveolen der Lunge eine bestimmte Luftmenge enthalten, so ist es klar, dass die Luft in denselben, durch die plötzliche Gasentwickelung erschüttert wird, was jedenfalls das zischende Atemgeräusch verursachen muss, weil jede plötzliche Erschütterung der Luft, hervorgebracht durch plötzliches Freiwerden einer verdichteten Luft oder eines eben entwickelten Gases, eine Art Geräusch verursacht.

Diese Thatsachen allein werden hinreichen, um darzuthun, dass die plötzliche Entwickelung des Kohlenoxydes in den Luftsäcken der Lunge als Ursache des vesikulären Atmungsgeräusches anzusehen ist.

### 5. Zweck der Atmung.

Im Zusammenhange mit der neuen Lehre über die Atmung steht die interessante Frage nach dem Zweck der Atmung. So plausibel es in allgemeinem war, dass die Atmung gewisse Beziehungen zum Allgemeinbefinden hat, so war man doch über die Art und Weise, wie die normale Funktion der verschiedenen Organe durch die Atmung beeinflusst wird, bis heute noch ziemlich so im Unklaren.

Will man nunmehr zur Besprechung des Zweckes der Atmung schreiten, so kann man von der Frage ausgehen, ob die Atmung einen Einfluss auf die Verdauung ausübt. Die diesbezügliche Aufklärung scheinen uns nachstehende Daten zu geben.

Aus dem zweiten Abschnitt „Physiologie der Verdauung“ haben wir entnommen, dass die Nahrungsmittel, welche durch die elektrochemischen Prozesse im Verdauungskanal in den Jonenzustand überführt worden sind, von hier nach jenseits des Digestionskanals gelangen, indem das Zwerchfell nach unten sich bewegt, und den

Inhalt des Magens und des Darmes unter höheren Druck versetzt. Hört nun die Lungenatmung bei verdauenden Tieren auf, so füllt sich der Darmkanal strotzend mit Jonen an, und dadurch wird die Verdauung sistiert. Während der Inspiration, wo die mit Gas gefüllten Därme komprimiert werden, können flüchtige Stoffe aus dem Digestionsrohr expulsiert werden, was die natürliche Verdauung vor Störung schützt. Die Verdauung wird also durch die Atembewegungen des Zwerchfells in dem normalen Gange erhalten, und da die Zwerchfellbewegungen durch die Lungenatmung bedingt sind (s. S. 148), so wird der Verdauungsapparat indirekt durch die Atembewegungen der Lunge zur Arbeit veranlasst. In der That ist die Verdauung umso eher vollendet, je grösser die Anzahl und Tiefe der Atemzüge ist.

Auf Grund dieser Erfahrung beantworten wir obige Frage dahin, dass durch die Atmung die Verdauung gewissermassen im normalen Gange erhalten wird, weil der Inhalt des Verdauungskanales infolge der gewaltsamen Lungenaufblähung in bestimmten Intervallen unter höheren Druck versetzt wird, was die Abgaben des Magens und Darmes an verdauten Stoffen ermöglicht.

An diesen Sachverhalt knüpfen wir nun die Frage, ob die Atmung einen Einfluss auf die Ernährung der Gewebe ausübt. Zu diesbezüglicher Aufklärung führen wir folgendes an:

Die chemischen Bestandteile des Ernährungsmateriales treten im Atomzustande aus dem Verdauungskanal in die Bauchhöhle (S. 74) über; der Inhalt der Bauchhöhle wird durch die Abflachung des Zwerchfells während der Inspiration unter höheren Druck versetzt, und infolge dieser Drucksteigerung entweichen die Bestandteile des Ernährungsmateriales aus der Bauchhöhle, indem sie in die mit der Peritonealhöhle in Verbindung stehenden Kapillargefässe eindringen, um an ihren Bestimmungsort zu gelangen (näheres hierüber s. im III. Abschnitt, 6. Kapitel).

Da nun die respiratorische Steigerung des abdominellen Druckes nicht auf das Zwerchfell, sondern auf die Expansivkraft der Lunge zurückzuführen ist, weil durch diese Kraft die Lunge gewaltsam ausgedehnt und durch die Lungenausdehnung der Inhalt der Bauchhöhle unter höheren Druck indirekt versetzt wird, so ist es klar, dass die Ernährung der Gewebe nur unter dem Einfluss der Lungenatmung vor sich gehen kann.

Diese Erfahrung würde mit anderen Worten lauten: Die Vernichtung der Atmung ist gleichbedeutend mit der Vernichtung der Ernährung der Gewebe.

Es bleibt hier noch zu untersuchen die Frage, ob öfteres Tiefatmen einen Einfluss auf die Blutbildung auszuüben vermag. Im vorhergehenden Kapitel haben wir den Einfluss der Atmung auf die Bildung des arteriellen Blutes kennen gelernt. Es wurde dort experimentell sicher gestellt, dass eine bestimmte Portion Blut bei

jedem Atemzuge in den Lungenvenen sich bildet. Es muss demnach folgender Satz mit der Wirklichkeit im Einklang stehen: Je stärker und öfter sich die Lunge entfaltet, desto mehr Blut sich bildet. In der That findet man bei Tieren, welche ein sehr reges Leben führen und infolgedessen oft tief atmen, wie die Hunde, Hasen und Rehe, die Blutmenge relativ gross, während Tiere mit träger Lebensweise relativ wenig Blut haben.

Wie wiederholt angedeutet wurde, führt die Inspirationsluft Sauerstoff dem Körper zu, während die exspirierte Luft ein flüchtiges Exkrement mit sich führt, was dem Organismus zu Gute kommt.

Die Lunge ist die Bildungsstätte desjenigen Gases, dessen Expansivkraft sich während der Inspiration auf die verschiedenen Organe des Körpers überträgt. Wenn man dies in Betracht zieht, gewinnt man daraus die Erkenntnis der Naturkraft, die das tierische Leben bedingt. Das tierische Leben setzt die Atmung voraus, indem es mit dem ersten Atemzuge beginnt und mit dem letzten aufhört. Die Atmung ist, wie vorerwähnt wurde, dazu bestimmt, von Zeit zu Zeit in den Lungenalveolen und Luftsäcken die den tierischen Organismus belebenden Kräfte hervorzubringen. Die Hervorbringung der Lebenskräfte ist als Endzweck der Atmung anzusehen.

Fünftes Kapitel.

# Der Stoff- und Kraftwechsel im Herzen und die durch ihn bedingten Erscheinungen.

Im vorliegenden Kapitel kommt zur Besprechung die Gesamtheit derjenigen Erscheinungen, welche dem Herzen eigentümlich sind und die man bisher durch die vermeintliche Herzpumpenwirkung zu erklären versucht hat.

Um die im linken Herzventrikel sich abspielenden Vorgänge zu ermitteln, müssen nachstehende Punkte einzeln behandelt werden: 1. Abgaben und Einnahmen des linken Herzventrikels an flüssigen und gasigen Bestandteilen des Arterienblutes während der Inspiration; 2. Übertritt des Lungenblutes in den linken Vorhof und linken Ventrikel; 3. Periodische Entwickelung von Kohlenoxydgas im linken Herzventrikel und die explosive Wirkung des Gases; 4. Schliessung und Öffnung der Herzklappen; 5. Expulsion des Blutes vom linken Herzen nach den Arterien hin; 6. die Herztöne; 7. der Herzstoss, und 8. der Zweck des Herzens.

## 1. Abgaben und Einnahmen des linken Herzventrikels an flüssigen und gasigen Bestandteilen des Arterienblutes während der Inspiration.

Bei dem Vorgange, welcher während der Inspiration die Abgaben und Einnahmen des linken Herzventrikels an flüssigen und gasigen Bestandteilen des Arterienblutes vermittelt, unterscheiden wir zwei Momente. Diese sind folgende: a) Aufsaugung des Herzblutes durch die Lungenvenen, und b) Einnahmen des linken Herzventrikels an flüchtigen Kohlenstoffverbindungen etc.

### a) Aufsaugung des Herzblutes durch die Lungenvenen.

Die Thatsache, dass das Blut während der Inspiration aus dem linken Herzventrikel in den linken Vorhof und von hier in die Lungenvenen regurgiert, lässt sich begrifflich fassen, wenn man berücksichtigt, dass die künstlich geschlossene Mitralklappe eines frisch ausgeschnittenen Herzens bei normalem Blutdrucke undicht wird. Hiernach muss der linke Herzventrikel mit dem linken Vorhof und den Lungenvenen stets in direkter Verbindung stehen.

Dass sich nach vollendeter Exspiration in den Lungenvenen ein Saugraum von 23 mm bildet, ist eingangs dieses Abschnitts festgestellt worden. An der Hand der vorerwähnten Daten, muss man zu der Schlussfolgerung kommen, dass der linke Herzventrikel während der Inspiration an den grossen Saugraum, welcher nach vollendeter Exspiration in den Lungenvenen entsteht, eine bestimmte Blutmenge abgiebt. Jeder Zweifel an der Richtigkeit dieser Schlussfolgerung ist dadurch beseitigt, dass die Regurgierung des Blutes aus dem linken Herzventrikel nach dem linken Vorhof allgemein bekannt ist.

### b) Einnahmen des linken Herzventrikels an flüchtigen Kohlenstoffverbindungen etc.

Die wesentliche Unterlage des mechanischen Vorganges, welcher die Einnahmen des linken Herzventrikels an flüchtigen Kohlenstoffverbindungen bewirkt, ergiebt sich aus folgenden Thatsachen:

1. In Bezug auf die Druckverhältnisse im Herzen sei hier erwähnt, dass Goltz und Gaule in einer bestimmten Phase im Inneren des Ventrikels einen negativen Druck fanden, der innerhalb der linken Kammer selbst 23,5 mm Hg. betrug.

2. Der frisch ausgeschnittene Herzmuskel giebt an das Vacuum nicht nur Wasserdämpfe, sondern auch flüchtige Kohlenstoffverbindungen in bestimmter Menge ab. Es ist also eine bestimmte Menge von flüchtigen Kohlenstoffverbindungen in den Zellen der Herzmuskulatur, den Ganglienzellen und Gefässen des Herzens vorhanden.

Überblickt man diese zwei Punkte, so lässt sich der Vorgang der Einnahmen des linken Herzventrikels an flüchtigen Kohlenstoffverbindungen, wie folgt darstellen: Während sich der linke Ventrikel im Beginn der Inspiration nach dem linken Vorhof entleert, stellt sich zwischen den Arterien des Herzens, den im Herzmuskel befindlichen Ganglienzellen und der linken Herzkammer eine Druckdifferenz ein. In der linken Herzkammer herrscht nämlich im Beginn der Inspiration ein negativer Druck von ca. 23 mm Hg., während der Inhalt der Koronararterien und der Ganglienzellen unter einem positiven Drucke steht, folglich wird ein Diffusionstrom thätig werden, welcher flüchtige Substanzen von den Punkten höherer Spannung (Ganglienzellen, Koronararterien) nach den Punkten niederer Spannung (linke Herzkammer) auf dem kürzesten Wege durch die Kapillaren schaffen muss.

Diese Erfahrung kann man kurz durch folgenden Satz ausdrücken: Der linke Herzventrikel giebt im Beginn der Inspiration an die saugenden Lungenvenen einen Teil seines Inhaltes ab und nimmt dafür von den Ganglienzellen und Gefässen des Herzens eine bestimmte Menge von flüchtigen Kohlenstoffverbindungen etc. auf.

## 2. Übertritt des Lungenblutes in den linken Vorhof und linken Ventrikel.

Die bisher geltende Lehre von der Fortschaffung des Blutes aus den Lungenvenen nach den linken Vorhof und Ventrikel, basierte auf der Annahme, dass das Blut während der Diastole vom Vorhof und Ventrikel aus den Venen in das Herz einströmt. In neuester Zeit hat sich aber eine Reaktion gegen diese irrige lange Jahre allein herrschende Auffassung erhoben. In der Ježek'schen Schrift „Umsturz der Harvey'schen Lehre vom Blutkreislaufe" (Leipzig 1892) ist nämlich durch das Experiment festgestellt worden, dass sich das Herz im lebenden Körper im Sinne der Systole und Dialstole überhaupt nicht bewegt.

Die Art, wie der Übertritt des Blutes aus den Lungenvenen in den linken Vorhof und Ventrikel ohne Herzkontraktion geschehen kann, lässt sich übersehen, wenn man in Betracht zieht, dass die feineren Lungenvenen nach vollendeter Inspiration, also im Moment der maximalen Aufblähung der Luftsäcke und Lungenalveolen plötzlich zusammen gepresst werden (s. S. 115), wobei der Druck in den Lungenvenen bis zu seinem Maximum (30—35 mg Hg.) steigt. Mit dem Eintritt dieser Drucksteigerung sucht das Blut, welches sich in den Lungenvenen befindet, nach allen Punkten niederen Druckes auszuweichen; als solche kommen in Betracht der linke Vorhof und Ventrikel. Der weitgehendste Beweis für die Richtigkeit dieser Vorstellung liegt darin, dass vom Anfang bis zu Ende jeder Inspiration in den linken Herzventrikel ein Saugraum von ca. 23 mm Hg. ist, in den das Blut der Lungenvenen übertreten kann.

Diese Erfahrung würde in kurzem lauten: Durch plötzliche Zusammenpressung der Lungenvenen steigt der Druck in denselben nach vollendeter Inspiration über den Druck des linken Vorhofs und Ventrikels, und es tritt das Blut unter dem Einfluss dieser Druckdifferenz aus den Lungenvenen in den linken Vorhof und von da in den linken Ventrikel über.

## 3. Periodische Entwickelung von Kohlenoxydgas im linken Herzventrikel und die explosive Wirkung des Gases.

Die Bedingungen, unter welchen die Entwickelung von Kohlenoxyd im linken Herzventrikel von Zeit zu Zeit geschehen kann, sind folgende:

1. Der linke Ventrikel, während der Inspiration unter negativem Drucke stehend, bezieht von den Ganglienzellen und Gefässen des Herzens flüchtige Kohlenstoffverbindungen, wie in vorhergehender Abhandlung erwiesen wurde.

2. Im linken Ventrikel sind starke elektrische Ladungen nachweisbar, es kann daher der Kohlenstoff nach seinem Eintritt in die Herzkammer unter dem Einfluss der elektrischen Energie ins Glühen versetzt werden. Dass durch den elektrischen

Strom der Kohlenstoff im Vacuum leicht erglüht, ist im vorhergehenden Kapitel durch das Experiment festgestellt worden.

3. In dem Moment, wo die Lungenvenen zusammengepresst werden (s. S. 115), tritt sowohl Blut als auch Kohlensäure aus den Lungenvenen in den linken Vorhof und Ventrikel über. Die Kohlensäure kommt, wie die Abhandlung über Herzstoss lehrt, portionsweise in der linken Herzkammer mit dem glühenden Kohlenstoff in Berührung und wird da nach der Gleichung

$$CO_2 + C = 2CO$$

zu Kohlenoxyd plötzlich umgewandelt. Das Gas verdoppelt sein Volumen infolgedessen. Das doppelte Gasvolumen kann aber der linke Ventrikel nicht fassen, folglich steigt die Spannung im linken Herzen ad maximum.

Da nun ein im geschlossenen Raume plötzlich entwickeltes Gas explosiv wirkt, so würde durch die plötzliche Gasentwickelung im linken Ventrikel eine Explosion herbeigeführt, deren Wirkung in mechanische Arbeit ausläuft, wie aus folgendem ersichtlich ist.

## 4. Schliessung und Öffnung der Herzklappen.

Zu den bekannten Thatsachen, die uns einen Aufschluss über die Schliessung und Öffnung der Herzklappen geben können, gehören folgende fünf Punkte:

1. Die Schlussfähigkeit der Herzklappen. Es wurde an einigen Stellen bereits hervorgehoben, dass die geschlossene Mitralklappe eines frisch ausgeschnittenen Herzens undicht ist, weshalb man derselben die eigentliche Schlussfähigkeit abspricht (Die Papillarmuskeln dienen lediglich zur Verankerung der Herzkammerwand).

Die Semilunarklappen sind schlussfähig, wenn sich das rückstauende Blut der Arterie in den Taschen der Valvulae semilunares fängt und dieselben gegen die Lichtung der Arterie drängt, wodurch die Arterie vom Ventrikel abgeschlossen wird.

2. Der Umstand, dass der Druck im linken Ventrikel im Beginn der Inspiration unter den Aortadruck sinkt und im Beginn der Exspiration über denselben steigt. Unter diesen Umständen bleibt die Semilunarklappe der Aorta während der ganzen Inspiration geschlossen.

3. Die neueste Entdeckung, dass sich durch Erweiterung der feineren Pulmonealarterien (s. S. 119) im Beginn der Inspiration in der A. pulmonalis ein Saugraum von 20 mm bildet, in den das venöse Blut vom rechten Ventrikel übertritt. Demzufolge muss die Semilunarklappe der Pulmonalarterie im Beginn jeder Inspiration durch den Blutstrom geöffnet werden.

4. Die Rückstauung des Blutes in der Pulmonalarterie, welche im Beginn der

Exspiration infolge der Zusammenpressung der feineren Pulmonalarterien entsteht. Die Klappe der A. pulmonalis wird durch dieses zurückstauende Blut geschlossen.

Da nun dieser Verschluss, dem vorerwähnten Umstande zufolge, stets im Beginn der Inspiration wieder gesprengt wird, so bleibt die Semilunarklappe der Art. pulmonalis während der ganzen Exspirationsphase geschlossen.

5. Die periodische Entwickelung von Kohlenoxyd im linken Herzventrikel; es wurde in vorhergehender Abhandlung sicher gestellt, dass sich von Zeit zu Zeit, namentlich im Beginn jeder Exspiration in der linken Herzkammer eine Menge von Kohlenoxyd plötzlich entwickelt und dass die Spannung der Gase im linken Herzen über die der Blutgase im Aortensystem steigt; es entsteht also in der Blutbahn eine Druckdifferenz, unter deren Einfluss sich die Semilunarklappe der Aorta öffnet.

Überblickt man diese fünf Punkte, so erhält man eine sichere Auskunft über die Schliessung und Öffnung der beiden Herzklappen; denn obige Daten beweisen: 1. dass im Beginn der Inspiration nur eine von den Herzklappen sich öffnet, und zwar die Semilunarklappe der Art. pulmonalis, während die Semilunarklappe der Aorta sich zu derselben Zeit schliesst; 2. dass beide Herzklappen während der ganzen Inspirationsphase in diesem Zustande verbleiben; 3. dass die Semilunarklappe der Aorta sich im Beginn der Exspiration öffnet und die Klappe der Pulmonalarterie sich schliesst, und 4. dass beide Klappen während der ganzen Exspirationsphase in diesem Zustande stehen bleiben.

### 5. Expulsion des Blutes vom linken Herzen nach den Arterien hin.

Die Frage, ob eine bestimmte Blutmenge vom linken Ventrikel aus nur während der Exspiration in die Arterien geworfen wird, findet ihre Erklärung, wenn man nachstehende vier Punkte in Betracht zieht:

1. Die Zusammenpressung der Lungenvenen, welche durch die maximale Aufblähung der Luftsäcke und Lungenalveolen nach vollendeter Inspiration zustande kommt (s. S. 115); das Blut vom linken Herzen kann während der Exspiration in die Lungenvenen nicht zurückströmen, weil dieselben zu dieser Zeit zusammengepresst sind.

2. Die plötzliche Entwickelung von Kohlenoxyd im linken Ventrikel, welche unter Explosionserscheinungen im Beginn der Exspiration stattfindet und höhere Spannung im linken Herzen erzeugt, deren Wert grösser als der Wert des arteriellen Blutdruckes ist. Also entsteht zwischen dem linken Herzen und dem Arteriensystem eine Druckdifferenz, die zur Folge hat: a) die Öffnung der Aortenklappe und b) die Expulsion einer Portion Blut vom linken Herzventrikel nach den Arterien hin.

3. Die Drucksteigerung in den Arterien. Bei jeder Exspiration steigt der

Druck plötzlich in den Arterien und nimmt bei jeder Inspiration ab. Der plötzliche Druckanstieg fällt mit der Öffnung der Aortaklappe und der Expulsion des Blutes vom linken Ventrikel nach den Arterien hin zusammen. So lange die Aortenklappe offen steht, herrscht ein sehr hoher Druck im linken Vorhof und linken Ventrikel sowie im ganzen Arteriensystem (dynamisches Gleichgewicht).

4. Die Schliessung der Aortaklappe. In vorhergehender Abhandlung ist festgestellt worden, dass sich die Semilunarklappe der Aorta im Beginn der Inspiration schliesst und während der ganzen Inspirationsphase geschlossen bleibt. Der Schluss der Aortenklappe fällt mit der Druckabnahme im linken Vorhof und Ventrikel zusammen. Die geschlossene Aortaklappe rückt nun gegen die Lichtung des linken Ventrikels, und infolgedessen nimmt der Druck im ganzen Arteriensystem ab. Diese Druckabnahme liefert uns den weitgehendsten Beweis dafür, dass die Arterien während der Inspiration kein Blut beziehen.

Die obige Frage dürfte hiermit ihre Erklärung gefunden haben, denn vorstehende Daten beweisen zur Genüge, dass durch die gegebene Druckdifferenz eine Portion Blut vom linken Herzen im Beginn der Exspiration in die Arterien geworfen wird.

## 6. Die Herztöne.

Legt man das Ohr unmittelbar oder mittelbar durch ein Stethoskop auf die Gegend des Herzens, so hört man zwei aufeinanderfolgende, von einander verschiedene Geräusche oder Töne. Zuerst hört man einen längeren, dumpferen, tieferen Ton, unmittelbar darauf einen kürzeren, hellen Klang, dem folgt eine etwa $^3/_4$ Sekunden andauernde Pause, nach welcher der erste Ton wiederkehrt. Der Zeitraum zwischen einem und dem nächstfolgenden ersten Ton ist genau der Dauer eines Herzschlages gleich.

Für den ersten Herzton stehen sich zwei Theorien gegenüber; nach der einen wird er erzeugt durch die dreizipfeligen und zweizipfeligen Klappen an den venösen Offnungen der Kammern, nach der andern ist er ein sogenanntes Muskelgeräusch, durch die sich zusammenziehenden Muskelfasern der Kammer hervorgerufen.

Weder die eine noch die andere Erklärung lässt sich in den Rahmen der modernen Physiologie einfügen.

Für den zweiten Ton galt die Rouanet- und Williams'sche Theorie bis jetzt allein; nach derselben soll der Ton entstehen durch die Schwingungen, in welche die halbmondförmige Klappen durch die plötzliche Ausspannung im Augenblicke ihres Schlusses geraten.

Da wir nun in vorhergehender Abhandlung den Beweis dafür brachten, dass die Semilunarklappen bei jedem Atemzuge einmal geschlossen werden, und da man

den Herzton während eines Atemzuges mehrmals wahrnimmt, so ist es klar, dass der zweite Herzton nicht durch den Schluss der halbmondförmigen Klappen, wie man bisher glaubte, verursacht werden kann.

Inzwischen wurden neue Thatsachen bekannt, die zu einer anderen Auffassung über die Entstehung der Herztöne geführt haben.

Durch eingehende Versuche und Beobachtungen ist der elektrochemische Vorgang ermittelt worden, durch welchen im linken Ventrikel von Zeit zu Zeit eine Portion Gas unter explosiven Erscheinungen entwickelt wird (s. S. 159). Der Zeitraum zwischen einer und der nächstfolgenden plötzlichen Gasentwickelung ist genau der Dauer eines Herzstosses gleich.

Da nun der Herzstoss mit dem ersten Ton synchronisch ist, so liegt die Vermutung nahe, dass die periodisch wiederkehrende plötzliche Gasentwickelung im Herzen die Entstehung des ersten Tones hervorrufen und der plötzliche Austritt dieses Gases aus dem Herzen den zweiten Ton herbeiführen kann.

Die Anhaltspunkte, welche diese Vermutung zur Gewissheit machen, sind folgende:

1. Die freien Blutgase, welche sich im linken Herzen nachweisen lassen, werden durch das plötzlich im Ventrikel entstandene Kohlenoxydgas in Schwingungen versetzt. Die Art und Weise, wie das Kohlenoxydgas im Ventrikel erzeugt wird, ist in der Abhandlung über „periodische Entwickelung von Kohlenoxyd im linken Herzventrikel und die explosive Wirkung des naszierenden Gases“ ausführlich behandelt worden. Durch die Schwingungen, welche die Blutgase im Ventrikel erleiden, wird der erste Herzton hervorgebracht, dessen Charakter durch die hohe Gasspannung bedingt ist. Der weitgehendste Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung liegt darin, dass man den ersten Ton über den ganzen Ventrikel gleich deutlich wahrnimmt.

2. Das Gas, welches plötzlich im Ventrikel erzeugt wurde, strömt aus dem Ventrikel in die grossen Gefässe ein, und bei dieser Strömung gerät jedes Gasteilchen in Schwingungen, welche den zweiten Herzton hervorbringen. Dies lässt sich noch durch die Thatsache stützen, dass der zweite Ton am deutlichsten und lautesten über den Ursprüngen der grossen Gefässe im dritten Interkostalraum wahrzunehmen ist.

Überblickt man die vorliegende Arbeit, so muss man auf Grund der angeführten Thatsachen zu folgendem Schlusse kommen: Der erste Herzton entsteht durch die Schwingungen der Gasteilchen, welche ihrerseits durch die periodisch wiederkehrende plötzliche Gasentwickelung im Ventrikel bedingt sind, und während das Gas den Ventrikel plötzlich verlässt, geraten dieselben Gasteilchen nochmals in Schwingungen, welche den zweiten Herzton hervorbringen.

### 7. Der Herzstoss.

Unsere Vorstellungen über die Ursache des Herzstosses waren bisher einfache. Die Ursache des Herzstosses sollte in der Erhebung der Herzspitze liegen, wodurch ein Hervordrängen der korresspondierenden Stelle der Brustwand entstehen muss. Gegen diese Anschauung, welcher die vermeintliche Systole des Herzens eine scheinbare Stütze verlieh, hat sich nun eine Reaktion erhoben. Die moderne Forschung hat uns mit neuen Thatsachen bekannt gemacht, nach welchen sich der Herzstoss ohne Erhebung der Herzspitze erklären lässt.

Ehe wir die Ursache des Herzstosses betrachten, müssen wir einiger hierhergehörenden Stützpunkte gedenken, diese sind folgende:

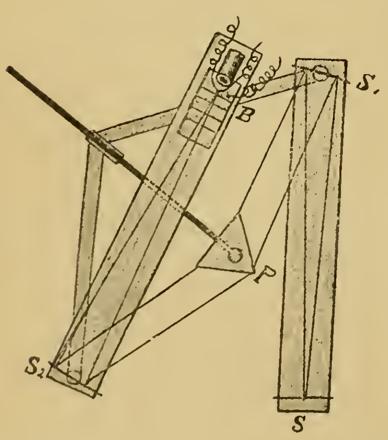
a) Experimenteller Nachweis der diskontinuierlichen Emission der Kohlensäure; b) periodische Wiederkehr plötzlicher Entwickelung von Kohlenoxydgas im Herzen.

#### a) Experimenteller Nachweis der diskontinuierlichen Emission der Kohlensäure.

Die Emission erhitzter Gase ist ein neuer Gegenstand der physiologischen Forschung, und es möge daher ein Verfahren und ein Apparat zum experimentellen Nachweis der diskontinuierlichen Emission der Kohlensäure hier kurz betrachtet werden.

Die von F. Paschen untersuchte Kohlensäure wurde in der Weise auf höhere Temperatur gebracht, dass sie durch eine aus Platinband gedrehte Spirale strömte, welche durch einen elektrischen Strom glühend erhalten wurde. Die so erwärmte Kohlensäure strich an einem Spalt S vorbei, der sich im Brennpunkte eines Hohlspiegels $S_1$ befand. Die von $S_1$ ausgehenden parallelen Strahlen wurden durch ein Flussspathprisma P zerlegt und durch den zweiten Hohlspiegel $S_2$ auf ein Bolometer B konzentriert. Der Bolometer besteht aus 2 Platinstreifen (7 mm lang, 0,25 mm breit und 1 : 2000 mm dick), die vor dem Versuche über der Petroleumlampe berusst wurden. Betreffs der Konstruktion des Apparates sei verwiesen an die Wied. Ann. 50, Seite 409.

Figur XX.




Paschen war der erste, welcher fand, dass die Kohlensäure und der Wasserdampf ein diskontinuierliches Emissionsspektrum zeigt, und dass die Maxima dieser Spektren sich mit Änderung der Temperatur verschieben.

Diese hochinteressante Entdeckung lenkte unsere Aufmerksamkeit auf das

Studium der diskontinuierlichen Emission der Kohlensäure und das Resultat war die Konstantierung folgender Gesetze:

1. Die Bildung von Kohlensäure geht bei niederen und höheren Temperaturen diskontinuierlich vor sich;

2. die Kohlensäure, welche vom Blut unter höherem Druck aufgenommen wurde, wird bei allmählicher Druckabnahme portionsweise frei, und mit dem Freiwerden erscheinen uns Gasbläschen, deren kontinuierliches Erscheinen sich mit blossem Auge verfolgen lässt;

3. die Zahl der gleichzeitig zum Vorschein kommenden Gasbläschen steht in einem bestimmten Verhältnis zu der Oberfläche und Tiefe der Flüssigkeit, von der die Kohlensäure unter höherem Druck aufgenommen wurde.

Wenn man diese Daten einer kritischen Prüfung unterzieht, und die Thatsachen respektiert, so kommt man zweifellos zu dem Schlusse, dass dem Blute eine Portion Kohlensäure nach der anderen in bestimmten Zeitabschnitten entweichen muss, so wie weiter, dass der Zeitraum zwischen einer und der nächstfolgenden Portion genau der Dauer eines Herzstosses gleich ist.

### b) Periodische Wiederkehr plötzlicher Entwickelung von Kohlenoxydgas im Herzen.

Der elektrochemische Akt, durch den eine Portion Kohlenoxydgas nach der andern in bestimmter Reihenfolge in dem linken Ventrikel plötzlich erzeugt wird, ist eingangs dieses Kapitels von einem allgemeinen Gesichtspunkte aus betrachtet worden. Es wurde namentlich in der Abhandlung über periodische Entwickelung von Kohlenoxydgas im linken Herzventrikel etc. verständlich gemacht, dass der Kohlenstoff, welcher mit flüchtigen organischen Substanzen in den linken Ventrikel eintritt, dort unter dem Einfluss der tierischen Elektricität ins Glühen versetzt wird. Da nun eine Portion Kohlensäure nach der andern in bestimmter Reihenfolge im linken Ventrikel dem Blute entweicht, und da jede Portion $CO_2$ mit dem glühenden Kohlenstoff im linken Ventrikel in Berührung kommt, so sind im Herzen die Bedingungen für die periodisch wiederkehrende plötzliche Entwickelung von Kohlenoxydgas stets erfüllt. Eine Portion $CO_2$ nach der andern wird unter den gegebenen Umständen im linken Ventrikel, wie in einer Retorte nach der Gleichung

$$CO_2 + C = 2CO$$

zu Kohlenoxyd plötzlich umgewandelt. Das Gas verdoppelt infolgedessen plötzlich sein Volumen, was eine heftige Explosion im linken Ventrikel verursacht, deren Wirkung einen Schlag gegen die starken Wände des Herzens ausübt, der Herzschlag genannt wird. Die Stärke und Anzahl der Herzschläge ist von der Temperatur abhängig. Bei 38,4° spalten sich nämlich von der Kohlensäuremenge, die im Herzblute

enthalten ist, etwa 70—75 Portionen während einer Minute ab. Wenn aber die Temperatur im linken Herzen höher steigt, nimmt die Zahl und das Volumen der Portionen an Grösse zu; umgekehrt verhält es sich bei dem Temperaturabstieg. Im linken Ventrikel wird, wie eben erläutert wurde, eine Portion $CO_2$ nach der andern zu Kohlenoxyd plötzlich umgewandelt und, indem dieses Gas sein Volumen unter explosiver Erscheinung verdoppelt, übt es auf die innere Oberfläche der linken Herzkammerwand einen Schlag aus, der um so stärker wird, je höher die Temperatur und die Gasspannung im Herzen ist.

Den Schlag, den die linke Kammerwand durch die periodisch wiederkehrende Gasexplosion erleidet, wird auf der korrespondierenden Stelle der Brustwand wahrgenommen, wenn das Herz der vorderen Brustwand selbst anliegt. Bei Erwachsenen, die eine ausserordentlich gesunde Lunge haben, wird nicht selten der Herzschlag, Herzstoss vermisst. In solchen Fällen liegt das Herz der Brustwand nicht an.

In der Regel wird der starkwandige linke Ventrikel durch die explosive Wirkung des Kohlenoxydgases heftig erschüttert und nicht erweitert. Diese Erschütterung pflanzt sich durch die anliegende Brustwand fort, und somit kommt eine periodisch wiederkehrende Erschütterung der korrespondierenden Stelle der Brustwand zu stande.

In der Hervorbringung des Herzstosses kommt hauptsächlich der starkwandige, linke Ventrikel in Betracht, weil die Tendenz der plötzlichen Entwickelung von Kohlenoxyd sich im linken Ventrikel nach oben und im rechten Ventrikel nach unten bewegt.

Aus dem Gesagten geht deutlich hervor, dass der Herzschlag durch plötzliche Gasentwickelung im linken Ventrikel hervorgerufen wird, während der Herzstoss infolge der durch den Herzschlag bedingten Erschütterung der Herzwände entsteht.

### 8. Der Zweck des Herzens.

Der Trieb des Menschen, den Zweck, resp. den Nutzen jeder Naturbildung zu erkennen, führte in seiner Anwendung auf den Organismus schon früh zu der Frage nach dem Zweck des Herzens. Mit Hilfe des induktiven und deduktiven Schliessens wurde aus dem anatomischen Bilde des Herzens sein Zweck abgeleitet. Zur Erläuterung dieses dient folgendes:

Das Herz eines Säugetieres ist der Erfahrung gemäss mit den grossen Gefässen vereinigt.

Die Pulmonalarterie ist mit der V. cava superior und inferior durch den rechten Vorhof und Ventrikel zu einer geschlossenen Leitung so verbunden, dass der Blutstrom keine starke Biegung zu machen braucht. Um die Aorta mit den vier Lungenvenen zu verbinden, ist das linke Herz notwendig.

Das Herz hat also in erster Linie den Zweck, die Pulmonalarterie mit zwei Hauptvenen und die Aorta mit vier Hauptvenen zu verbinden.

Wir wissen, dass sich das venöse Blut während der Exspiration, wo die feineren Pulmonalarterien zusammengepresst sind (s. S. 115) im rechten Vorhof und Ventrikel ansammelt, während das Blut aus den Lungenvenen nach vollendeter Inspiration in den linken Vorhof und Ventrikel, wie in ein Sammelbassin strömt. Hieraus ist die innere Zweckmässigkeit der Herzkammern und Vorhöfe zu ersehen.

Im linken Herzventrikel, der sich durch starke Wände auszeichnet, ist der Sitz der periodisch wiederkehrenden Krafterzeugung durch Gasexplosion (s. S. 159); es entsteht von Zeit zu Zeit in der linken Herzkammer eine lebendige Kraft, welche den Übertritt des Herzblutes in die Aorta vermittelt (s. S. 161). Demnach ist es nicht zu verkennen, dass Harvey zuerst den Zweck des linken Herzventrikels erforscht und erkannt hat.

Sechstes Kapitel.

## Die Arterien und der Stoffumsatz in denselben.

Zahlreiche Detailbeobachtungen anatomischer, elektrochemischer und mechanischer Art, welche die Vorgänge der natürlichen Produktion von oxydationsbeständigem Körperbaumaterial in den Arterien erkennen lassen, haben den Strom der Forschung in ganz neue Bahnen gelenkt. Demnach ist zu erwarten, dass eine Reihe neuer Entdeckungen in diesem Kapitel zur Sprache kommt.

Vorliegendes Kapitel besteht aus folgenden 11 Abhandlungen:

1. Untersuchung der Arterienwände auf Resistenz;
2. Beschickung der Arterien mit Blutflüssigkeiten und Gasen;
3. Experimentelle Studien über das Verhalten des Blutes in den Arterien;
4. der Puls;
5. die Töne der Arterien;
6. die pulsatorischen und respiratorischen Druckschwankungen in den Arterien;
7. Ausgaben der Arterien an flüchtigen Blutpartikelchen;
8. Gerinnung des Blutes;
9. die Farbe des Arterienblutes;
10. Erzeugung der Wärme in den Arterien, und
11. der Zweck der Arterien.

### 1. Untersuchung der Arterienwände auf Resistenz.

Bei Untersuchung der Arterienwände auf Resistenz wird man sich stets der Druckpumpe zu bedienen haben. Betreffs der hierbei einzuschlagenden Technik sei verwiesen auf folgenden Versuch.

Einem Pferde wurde am Vorderbein die Art. brachialis blosgelegt und auf zwei Stellen unterbunden so, dass zwischen den beiden Ligaturen ein gebogenes Rohrstück in dasselbe Gefäss eingeschaltet werden konnte. Nachdem die Einschaltung geschehen, wurde die untere Ligatur gelöst, um das Blut aus den peripheren Arterien ausströmen zu lassen. Nach Entleerung des Gefässes wurde mit demselben eine

Druckpumpe verbunden und in das Gefäss eine Injektion von physiologischer Kochsalzlösung gemacht.

Da nun bei allmählich fortgesetzter Injektion der Druck in der Versuchsarterie über den normalen Blutdruck gestiegen war, so folgt daraus, dass — weil die peripheren Arterienenden bei diesem Versuch nicht unterbunden wurden, zweifellos die Arterienenden völlig geschlossen sein dürften.

Indessen haben wir es bei diesem Versuche nicht mit einer überraschenden Entdeckung zu thun, wie aus folgendem ersichtlich ist:

Fredericy, der bei den Cephalopoden den Druck im Gefässsystem gemessen, berichtet hierüber: In einer Kiemenvene, in welcher eine L-förmige Glaskanüle eingeführt war, stieg die Blutsäule auf 7—8 cm an (die Blutflüssigkeit hat ein spez. Gewicht von 104 g) und zeigte Oscillation von etwa 1 cm; in der Arterie cephalica fand er als Maxima in vier Versuchen Druck von 78, 78, 62, 65 cm, das Blut stieg stossweise bis zu dieser Höhe und erhielt sich dann auf derselben, während es kleine Oscillation von etwa 1 cm ausführte.

Jede Atembewegung trieb die Blutsäule in die Höhe.

Mit Rücksicht auf das hohe spezifische Gewicht des Blutes, seinen reichen Gehalt an festen Substanzen und die hohen Werte des arteriellen Blutdruckes, möchte er das arterielle Gefässsystem als völlig geschlossen erklären; dafür sprechen auch seine Injektionsversuche, sowie die anatomischen Untersuchungen des Gefässsystems.

Die Arterienwände sind, wie die mikroskopische Untersuchungen lehren, von unzählig vielen ausserordentlich feinen Poren durchbohrt, welche zu fein sind, als dass sich durch dieselben ein hydrostatischer Druck fortpflanzen oder ein winziges Tröpfchen Blut oder eine Blutzelle durchzwingen könnte.

Mit Verwertung obiger Thatsachen lässt sich auf Grund der mit Hilfe des in Fig. XIV illustrierten Apparates gewonnenen Versuchsergebnisse der Satz aufstellen, dass das Porensystem der Arterienwände den Ausweg für Wasserdampf und Blutpartikelchen flüchtiger Natur darstellt und dass die Arterien nicht, wie man früher wollte, an ihren feinen Enden offen sind, sondern dass dieselben ein völlig geschlossenes Gefässsystem bilden, aus dem Blutflüssigkeit unter den normalen Druckverhältnissen nicht heraustreten kann.

### 2. Beschickung der Arterien mit Blutflüssigkeiten und Gasen.

In Anbetracht der in vorhergehender Abhandlung erwiesenen Daten und der Entdeckung, dass die feinen Arterien stets blind endigen, kann man von Füllung oder Beschickung der Arterien mit Blut und Gas sprechen.

Die Beschickung der Arterien mit Blut und Gas geschieht während der Exspi-

ration vom linken Ventrikel aus und zwar im Augenblick der respiratorischen Blutdrucksteigerung. Dies folgt aus der Erkenntnis, dass durch die explosive Wirkung des im linken Ventrikel plötzlich entwickelten Gases der Verschluss der Aortenklappe nach vollendeter Inspiration gesprengt wird (s. S. 160), und infolgedessen muss das Blut und Gas aus den linken Ventrikel in die Arterien strömen. Diese Strömung fällt stets mit dem respiratorischen Druckanstieg des Arterienblutes zusammen.

Da nun die Dauer des Blutdruckanstieges etwa 0,5 Sekunde beträgt, so kann während dieser Zeit nur eine kleine Portion Blut vom linken Herzen in die Arterien übertreten. Diese Behauptung findet ihre Bestätigung durch das Experiment, indem der respiratorische Blutdruckanstieg auf folgende Art und Weise künstlich hervorgebracht wurde:

Einem vergifteten Hunde wurde die Carotis blosgelegt und in dieselben Wasser so lange injiziert, bis sich ein konstanter Druck von 130 mm Hg. in den Arterien eingestellt hat. Um diesen Druck auf 150 mm zu erhöhen, braucht man nur wenige $mm_3$ Wasser in die Carotis einführen. Ein solcher Druckanstieg lässt sich auch hervorbringen, wenn man durch einen Quetschhahn das Lumen der Carotis um einige $mm_3$ verengert.

Demnach kann die Blutmenge, welche bei jeder Exspiration den Arterien einverleibt wird, nur wenige $mm_3$ betragen; eben so gross ist die Gasmenge, die vom linken Herzen aus während der Exspiration in die Arterien übertritt.

Die Kraft, welche bei jeder Exspiration eine bestimmte Gas- und Blutmenge vom linken Ventrikel aus in die Arterien schaffen muss, wurde in der Druckdifferenz ermittelt, die, dem 5. Kapitel IV. Abschnitt zufolge, nach vollendeter Inspiration zwischen den Arterien und der linken Herzkammer entsteht.

Diese Erfahrung lässt sich kurz folgendermassen ausdrücken: Die Arterien werden während der Exspiration mit Blut und Gas vom linken Herzventrikel aus beschickt.

### 3. Experimentelle Studien über das Verhalten des Blutes in den Arterien.

Auf Grund der eingangs dieses Kapitels sichergestellten Thatsachen, dass die feinen Enden der Arterien stets blind endigen und das feine Porensystem der Arterienwände nur für flüchtige Naturprodukte als Austrittspforte dient, war es unerlässlich, tiefere Studien über das Verhalten des Blutes in den Arterien zu machen. Wir gingen hierbei in folgender Weise zu Werke:

Einem jungen Meerschweinchen wurde die Muskulatur der Hinterpfote nach Abzug der Haut stellenweis fast ganz auseinandergezupft und so auf einen hierzu konstruierten Objekttisch befestigt, dass an verschiedenen Stellen die feinen Arterien

des Unterschenkels der mikroskopischen Betrachtung zugänglich waren. Bei der Betrachtung der feinen Arterien unter dem Mikroskop hat man gesehen, dass die Blutflüssigkeit in der Mitte des Gefässes sich befindet, ohne mit der Wand in Berührung zu kommen. Zwischen dieser und der Blutflüssigkeit bleibt nämlich eine farblose Zone, in der sich Gasbläschen unregelmässig bewegen.

Diese hochinteressante Erscheinung wurde in jüngster Zeit auch von anderen Forschern beobachtet, denn, den diesbezüglichen Litteraturangaben zufolge, ist von mehreren Autoren die farblose Zone „Wandstrom“ und die rot gefärbte Flüssigkeit „Achsenstrom“ benannt worden.

Nähere Betrachtungen haben ergeben, dass diese farblose Zone (der Wandstrom) sich aus Blutdämpfen und Gasen zusammensetzt. Hiervon kann man sich überzeugen, wenn man während der Betrachtung der farblosen Zone unter dem Mikroskop das betreffende Gefäss langsam ausbluten lässt. Die farblose Zone verschwindet stets in dem Moment der Öffnung der Arterie, und man sieht in demselben Augenblick Dämpfe aus der feinen Stichwunde herausströmen, wenn das Experiment im kühlen Raum stattfindet.

Da die Breite der farblosen Zone (des Wandstromes) zu der Breite der Flüssigkeitssäule (des Achsenstromes) wie 2:3 steht, so werden hiernach die Blutdämpfe und Gase, welche sich in der farblosen Zone befinden, in dem ganzen Arteriensystem etwa 35 Raumteile einnehmen.

Wie die Blutdämpfe und Gase in den Arterien entstanden sein konnten, ist nicht mit Sicherheit zu sagen, aber es verdient eine zuverlässige Vermutung erwähnt zu werden, nach welcher die Vergasung und Verdampfung des Arterienblutes infolge der respiratorischen Blutdruckschwankungen unter dem Einfluss tierischer Elektricität bei 38° vor sich gehen kann.

Unsere Aufgabe wird es nun sein, die vermutlichen elektrochemischen Vorgänge in der Blutbahn nachzuweisen. Behufs Lösung dieser Aufgabe müssen wir zunächst eine Reihe neuer Entdeckungen in unsere Betrachtung ziehen.

Um die natürlichen Vorgänge der Blutvergasung und Verdampfung leichter zu übersehen, wurde folgende Einteilung der vorliegenden Abhandlung getroffen:

a) Nachweis von elektrischen Strömen in den Arterien; b) Umwandelung der den Arterien einverleibten Nahrungseiweisse zu Organeiweiss; c) Destruktion der zelligen Elemente des arteriellen Blutes; d) Verdampfung der Blutflüssigkeiten in den Arterien; e) die Bildung von Kohlensäure in den Arterien; f) Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd in den Arterien; g) Veränderung der Mineralstoffe in den Arterien; h) Zusammenfassung.

### a) Nachweis von elektrischen Strömen in den Arterien.

Wird von zwei Elektroden, die in einem Galvanometerkreis aufgenommen wurden, die eine an ein arterielles Gefäss fixiert und die andere Elektrode, die mit einer Isoliermanschette bekleidet ist, durch die Gefässwand hindurch in den Blutstrom eingeführt, so zeigt der Galvanometer das Vorhandensein von Strömen an.

Während die Elektricitätsentwickelung in den Nerven und Muskeln nur mit sehr feinen Hilfsmitteln nachweisbar ist, zeigt schon ein weniger empfindlicher Galvanometer das Vorhandensein von Strömen in den Arterien an.

Demnach findet in den Arterien in der Norm im grösseren Masse Elektricitätsentwickelung statt, als in den Muskeln, ein Verhältnis von grosser Bedeutung für das Verständnis der elektrochemischen Vorgänge, welche sich lebenslänglich in den Arterien abspielen.

### b) Umwandlung der den Arterien einverleibten Nahrungseiweisse zu Organeiweiss.

Man unterscheidet zwei Arten von Eiweiss, denen C. Pflüger eine verschiedene chemische Konstitution zuspricht, nämlich das Nahrungseiweiss *) und Organeiweiss. Das Nahrungseiweiss besteht aus Amiden, die Amide gehen infolge der Eiweissverdauung in Cyanverbindungen über, welche leicht zersetzlich d. h. oxydationsunbeständig sind. Die chemischen Bestandteile der Nahrungseiweisse werden aus dem Verdauungskanal in die Peritonealhöhle und von hier direkt durch die Kapillaren (s. S. 90) in die Gewebe geschafft und können im Hunger ebenso, wie das Nahrungseiweiss zur Ernährung des Körpers verwendet werden (s. S. 105).

In der That fällt das im Gewebe aufgespeicherte Nahrungseiweiss im Hunger dem Stoffwechsel anheim, während das Organeiweiss unangetastet bleibt.

Da nun der Verdauungsapparat dem Körper nicht Organeiweiss, sondern nur Nahrungseiweiss liefert, so muss das Nahrungseiweiss im Körper selbst durch „vitale Prozesse“ zu Organeiweiss gewissermassen eingebrannt werden.

Es müssen die Blutgefässe, namentlich die Arterien als der Ort der Umprägung oder Umwandlung der Nahrungseiweisse zu Organeiweiss angesehen werden, weil ein mächtiger elektrischer Strom in den Arterien waltet (s. oben).

Das Nahrungseiweiss, welches in die Blutgefässe hineindringt, wird dort eine Zeit lang dem elektrischen Strome, dem Blutdruck- und Temperaturwechsel ausgesetzt, und damit ist auch die Möglichkeit für die Umwandlung des Nahrungseiweisses gegeben.

Weitere Erfahrungen scheinen anzudeuten, dass die Moleküle des Nahrungsei-

---

*) Das Nahrungseiweiss wurde von vereinzelnden Forscher als „zirkulierendes Eiweiss“ bezeichnet.

weisses, welche in den Blutgefässen einen elektrochemischen Prozess durchgemacht haben, sich ausserhalb der Blutgefässe organisieren und als unlösliches, oxydationsbeständiges Organeiweiss in Form von Muskelfasern zum Vorschein kommen, nämlich das Blut gerinnt nach seinem Austritt aus den Gefässen zum Teil in Fäden, welche grosse Ähnlichkeit mit den Muskelfasern besitzen und sich durch Unlöslichkeit und Oxydationsbeständigkeit von Pflanzen oder Nahrungseiweiss unterscheiden. Dies ist das in den Blutgefässen aus dem Nahrungseiweiss entstandene Organeiweiss, welches früher allgemein Faserstoff oder Fibrin bezeichnet worden ist.

Das Fibrin beträgt nur 0,1—0,3% vom ganzen Blutkuchen, dessen Entstehungsursache bei der Blutgerinnung betrachtet werden soll.

Diese Erfahrung kann man durch folgenden Satz ausdrücken: Die chemischen Bestandteile der Nahrungseiweisse, welche in die Blutbahn gelangen, werden in den Blutgefässen, namentlich in den Arterien, wie in einer Retorte unter dem Einflusse der tierischen Elektricität in bestimmter Zeit von einer Resistenzstufe auf eine höhere transformiert, um die nötige Affinität zu den Proteïnsubstanzen des betreffenden Organismus zu erlangen.

### c) Destruktion der zelligen Elemente des Blutes.

Die älteren Autoren lehrten, dass der durch die Lunge aufgenommene Sauerstoff die kohlenstoffhaltigen Elemente des Blutes verbrennen. In der That findet weniger eine Verbrennung, als vielmehr ein Durchglühen und Feuerbeständigmachung gewisser Stoffe in den Arterien statt, ein elektrochemischer Prozess, der vielseitige Trennung der Verbindungen und namentlich die Destruktion der Blutzellen bewirkt.

Zur Erläuterung dieser Auffassung möge nachstehendes dienen.

Unter dem Einflusse des elektrischen Stromes, der sich in den Arterien nachweisen lässt, werden die zelligen Elemente des Blutes in den Arterien, wie in einer Retorte einen elektrochemischen Prozess durchlaufen, wobei die Blutzelle nach Abgabe ihres Sauerstoffgehaltes in einen Kohlenstoff- und Wasserstoffreihen-Atomkomplex einerseits und einen stickstoffhaltigen andererseits gespalten wird, während Kalk, Phosphor, Schwefel, Eisen, Chlorkalium etc. hierdurch isoliert werden. Den gewichtigsten Anhalt für diese Anschauung liefert einmal die Thatsache, dass beim Erwachsenen die innere Wandoberfläche der Aorta oft mit einer kalkartigen Borke (Alheroma) bedeckt ist; zweitens der Umstand, dass die Blutzelle durch das feine Porensystem der normalen Gefässwände die Arterien nicht verlassen kann.

In den Arterien vollziehen sich die Prozesse der Stoffumwandlung und Kraftentwickelung, und zur Erhaltung dieser lebenswichtigen Prozesse sind die Blutzellen bestimmt. Freilich haben wir es bei der Destruktion der Blutzellen nicht mit einer neuen Entdeckung zu thun. Rollet, welcher das Verhalten der Blutkörperchen ein-

gehend studierte, hat den Satz durchgeführt, dass die Blutzellen innerhalb der Blutbahnen einen Mauserungsprozess durchmachen (Wiener klinische Wochenschrift 1894, N. 31. S. 77. „Betrachtungen über Mauserung des Blutes“).

Die bekannte Thatsache, dass die Zahl der Blutzellen in der Raumeinheit oft in auffallender Weise verkleinert wird, liefert einen weiteren Beweis dafür, dass eine Destruktion der zelligen Elemente des Blutes in den Gefässen statt hat.

Diese Erfahrung würde mit anderen Worten lauten: Die zelligen Elemente des Blutes, welche vom linken Ventrikel in die Arterien eingedrungen waren, werden da in gerade fortschreitender Richtung durch die tierische Elektricität in ihre Bestandteile zerlegt.

### d) Verdampfung der Blutflüssigkeit in den Arterien.

Die Arterien enthalten stets eine bestimmte Menge von Wasserdampf, welcher seine Entstehung der Blutwärme und der Flüssigkeit verdankt. Die Verdampfung des im Arterienblute enthaltenen Wassers, wird ausserordentlich unterstützt durch folgende Momente:

1. Die Blutdruckschwankungen. Unter dem Einfluss des Sinkens des Blutdruckes verdunstet in den Arterien bei 38,4° eine erhebliche Menge von Flüssigkeit. Dies folgt aus der Thatsache, dass bei Abnahme des Druckes, der auf der Oberfläche einer Flüssigkeit lastet, eine Verdunstung derselben Flüssigkeit statt hat;

2. der Umstand, dass die Flüssigkeit in den Arterien eine sehr grosse Oberfläche hat, deren Einfluss auf die Blutverdunstung aus folgendem Beispiel ersichtlich ist. Die Flüssigkeitmenge, welche während der Mittagsstunde im Hochsommer verdunstet, steht im bestimmten Verhältnis zu der Grösse ihrer Oberfläche. Da nun die Oberfläche der Blutflüssigkeit in den Arterien eines Erwachsenen etwa 49 Millionenquadratmillimeter beträgt, so sind damit die Bedingungen in den Arterien erfüllt, unter welchen in den Arterien während eines Atemzuges soviel Wasser verdunsten kann, als dieselben während dieser Zeit von dem linken Ventrikel beziehen. Die Blutflüssigkeit, welche bei jedem Atemzuge vom linken Ventrikel in die Arterien geschafft wird, beträgt nur wenige $mm_3$ (s. S. 162). An diese Stelle ist noch einer hierhergehöriger Thatsache zu gedenken: Wird z. B. eine Arterie unterbunden, so hört die normale Wasserverdunstung in dem peripheren Teil der Arterie sofort auf, weil das Gefäss weder unter dem Einfluss der respiratorischen Druckschwankungen steht noch mit Flüssigkeit beschickt wird;

3. die hohe Spannung in den Arterien; sobald wie sich ein Dampfpartikelchen in den Arterien gebildet hat, kommt es unter den Einfluss der Druckdifferenz, die zwischen den Arterien und den umliegenden Geweben fortwährend besteht. Diese

Druckdifferenz ist die Triebkraft, durch welche die Wasserdämpfe aus den Arterien fortwährend in die umliegende Gewebe geschafft werden (s. S. 182);

4. die Steigerung der Blutwärme. Die Menge der sich in einem begrenzten Raume bildenden Dämpfe steht in einem bestimmten Verhältnis zu dem Temperaturgrade, unter dem die Dampfbildung vor sich geht. Demnach muss bei Steigerung der Blutwärme eine grössere Menge von Wasser in den Arterien verdunsten; in solchen Fällen wird eine nicht unbeträchtliche Wassermenge aus dem Blute in Dampfform entfernt. In der That scheidet der Körper nach reichlicher Zufuhr besonders warmer Getränke beträchtliche Wassermengen aus, die sich auf der Hautoberfläche zu Schweissflüssigkeit verdichten;

5. die hohe Elektricitätsspannung in den Arterien. Durch die hochgespannten elektrischen Ströme, welche in den Arterien nachgewiesen worden sind (s. Seite 172), wird das Wasser des Arterienblutes in zwei Teile Wasserstoff und einen Teil Sauerstoff nach und nach zerlegt; diese Gase können sich wieder synthetisch vereinigen, und durch Vereinigung der 2 Volumen Wasserstoffgase mit 1 Volumen Sauerstoffgas wird Wasserdampf gebildet.

Überblickt man diese fünf Punkte und zieht man die vorhergehende Schlussfolgerung in Betracht, so machen sich allerdings zu Gunsten der Lehre von der Verdampfung der Blutflüssigkeit sichere Anhaltungspunkte geltend.

Nach der Vorstellung, die wir uns auf Grund obiger Erfahrung von dem Prozess der Blutverdampfung machen, ist die Menge der Blutflüssigkeit, welche während eines Atemzuges bei 38,4 ° unter dem Einfluss der elektrischen Ströme in den Arterien zu Dampf umgewandelt wird, ebenso gross, wie die Blutmenge, welche während eines Atemzuges vom linken Herzen aus in die Arterien geschafft wird, so dass bei normaler Blutwärme sich die Einnahmen und Ausgaben der Arterien vollständig decken.

### e) Die Bildung von Kohlensäure in den Arterien.

Im arteriellen Blute des Hundes sind im Mittel 22,6 Volumenprozent Sauerstoff enthalten (bei 0 ° und 760 mm Hg. Druck); und da eingangs dieses Kapitels sichergestellt wurde, dass die Blutzellen in bestimmter Reihenfolge, unter dem Einfluss der elektrischen Ströme, in den Arterien in ihre Bestandteile zerlegt werden, so ist es einleuchtend, dass Kohlenstoff infolge der Destruktion der Blutzellen frei wird.

Der Kohlenstoff verbindet sich mit Sauerstoff in fünf Verhältnissen, ein merkwürdiges Ereignis, dessen Grund wahrscheinlich in der elektrischen Natur des Kohlenstoffes und den elektrischen und termischen Zuständen (Affinität) zu suchen sei. Der infolge der Destruktion der Blutzellen freigewordene Kohlenstoff wird

aus den Blutzellen ausgeschieden, und darauf verbindet er sich mit dem Sauerstoff des Blutes zu Kohlensäure. Dieser Vorgang offenbart sich in der Thatsache, dass das arterielle Blut 34,3 Volumenprozent Kohlensäure enthält, die vollständig in den luftleeren Raum austreten (Pflüger). Den direkten Beweis für die Bildung der Kohlensäure im Blute liefern uns folgende Daten:

1. Je schneller die Entfernung des Sauerstoffes aus dem Blute vorgenommen werden kann, um so grösser fällt seine Menge aus. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung darin, dass Kohlenstoff stets im Blute ist, welcher sich mit dem Sauerstoff des Blutes synthetisch zu Kohlensäure verbindet. Für die Richtigkeit dieser Erklärung scheint nachstehender Versuch zu sprechen.

2. Steht das Blut nach der Entleerung aus den Blutgefässen längere Zeit und bei höherer Temperatur, so tritt in dem Blute ein Verbrauch von Sauerstoff und eine Bildung von Kohlensäure auf.

Demnach unterliegt es keinem Zweifel mehr, dass die Bildung von Kohlensäure im lebenden Blute, namentlich in dem Arterienblute vor sich geht.

### f) Reduktion der Kohlensäure zu Kohlenoxyd in den Arterien.

Im unmittelbaren Anschluss an die Erfahrung, dass Kohlensäure in den Arterien gebildet wird, wurde die Frage diskutiert, ob die Kohlensäure die Arterien verlassen kann.

Durch ein Experiment, bei welchem einem soeben getöteten Tiere die Aorta nach Unterbindung ihrer Äste reseziert und mit Kohlensäure so lange beschickt wurde, bis sich in derselben eine Kohlensäurespannung von 230 mm Hg. zeigte, überzeugten wir uns davon, dass durch die poröse Arterienwand Kohlensäure nicht, wie man früher wollte, diffundiert. Diese Überzeugung und die Erkenntnis, dass die feineren Arterien stets blind endigen (s. S. 168), fällt schwer ins Gewicht bei Entscheidung der Frage nach dem Verbleib der Kohlensäure, welche sich nach und nach im lebenden Blute, insbesondere in dem Arterienblute bildet. Wohl im Rückblick auf die Erfahrung, dass erhebliche Mengen von Kohlenstoff aus dem arteriellen Blute fortwährend ausgeschieden werden (s. S. 175), lässt sich mit Verwertung obiger Thatsachen in Arterien der Verlauf von Prozessen statuieren, in welchen unter Einwirkung des elektrischen Stromes gasförmige Körper verändert und reduziert werden, in einer Weise, wie wir es ausserhalb des Körpers experimentell verfolgen können.

Auf Grund theoretischer Erwägungen und direkter Versuche entscheiden wir nun obige Frage dahin, dass die Kohlensäure in den Arterien mit dem freien Kohlenstoff nach und nach in Berührung kommt und nach der Gleichung

$$CO_2 + C = 2CO$$

zu Kohlenoxyd reduziert wird.

### g) Veränderung der Mineralstoffe in den Arterien.

Von anorganischem Material finden sich im menschlichen Blute Ca. Cl. Fe. K., Na. Mg. Mn. S. P. Wasser. Diese Stoffe sind im arteriellen Blute als Salze und salzähnliche Verbindungen enthalten. Sie besitzen die Fähigkeit elektrische Ströme zu erzeugen (s. S. 35). Der Körper gewinnt also aus ihnen eine elektrochemische Kraft, welche sich namentlich in den Arterien wirksam erweist. Diese Elemente sind für den Gewebeaufbau notwendig. Schaltet man einen dieser Stoffe aus, so geht der Körper zu Grunde (Foerster). Die Mineralstoffe kommen fast immer als Rohmaterial in den Körper hin, sie können im Körper selbst, namentlich in den Arterien zu Organbestandteilen assimiliert werden. Von Einzelheiten sei folgendes hervorzuheben:

Die Mineralstoffe, welche im Arterienblute enthalten sind, werden in den Arterien infolge der Destruktion der Blutzellen (S 173) und Verdunstung der Blutflüssigkeit (S. 174) aus ihren früheren Verbindungen frei. Sie werden nach ihrem Freiwerden in den Arterien nicht oxydiert, weil sie von dem Stickstoff und Kohlenoxyd umschlossen sind, nämlich Stickstoff und Kohlenstoff besitzen die Fähigkeit, Mineralstoffe vor Oxydation zu schützen.

Zur Bestätigung dieser Behauptung führen wir folgendes an:

Prof. Hartley*), welcher sich eingehend mit der Thermochemie des Bessemer-Prozesses beschäftigte, wiess experimentell nach, dass in der Birne Eisen und Mangan nicht oxydieren, sondern nur verdampfen, indem sie von dem Stickstoff und Kohlenoxyd umschlossen sind. Aber sobald sie mit der äusseren Luft in Berührung kommen, werden sie sofort oxydiert und es entstehen Dämpfe.

Das Freiwerden der Mineralstoffe in den Arterien ist nicht allein das Resultat der Verdunstung der Blutflüssigkeit, sondern auch der Gegenwart von Blutdruckschwankungen und tierischer Elektricität. Was diese letztere betrifft, so ist es klar, dass je länger die Elemente bei 38,4 ° in den Arterien unter dem Einflusse der tierischen Elektricität und der Blutdruckschwankungen stehen, sie um so grössere Affinität zu einander erlangen.

Demnach findet eine Verarbeitung des anorganischen Rohmateriales in den Arterien statt, ein Assimilationsprozess, welcher bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse hohe Bedeutung für das Verständnis der Entwickelung der verschiedenen Gewebe hat.

---

*) Chem. Ztg. 1895, Nr. 74, S. 1658.

### h) Zusammenfassung.

Durch die angeführten Untersuchungen sind wir über die elektrochemischen Vorgänge, welche sich normalerweise in den Arterien abspielen, genau unterrichtet und wissen:

1. dass tierische Elektricität in dem arteriellen Blute kontinuierlich erzeugt wird;

2. dass die chemischen Bestandteile der Nahrungseiweisse, welche in die Arterien übertreten, dort einen Assimilationsprozess durchlaufen, durch welchen sie von einer Resistenzstufe auf eine höhere transformiert werden, um die nötige Affinität zu den Proteïnsubstanzen des betreffenden Organismus zu erlangen;

3. dass die Blutzellen in den Arterien durch die tierische Elektricität in gerade fortschreitender Richtung in ihre chemischen Bestandteile zerlegt werden;

4. dass die Blutflüssigkeit bei 38,4° unter dem Einfluss der elektrischen Aktion und der Druckschwankungen in den Arterien successive verdampft;

5. dass infolge des Dissociationsprozesses im arteriellen Blute sich Kohlensäure portionsweise bildet;

6. dass die Kohlensäure in den Arterien nach und nach mit Kohlenstoff in Berührung kommt und unter explosiver Erscheinung nach der Gleichung $CO_2 + C = 2\,CO$ zu Kohlenoxyd umgewandelt wird;

7. dass das anorganische Rohmaterial in den Arterien einen elektrochemischen Prozess durchläuft, aus dem eine Zubereitung des Rohmateriales resultiert.

Überblickt man diese Punkte, so tritt die Ansicht in Vordergrund, dass der Tierkörper aus bestimmtem Rohmaterial gewisse Substanzen und Kräfte seines Körpers selbst erzeugt, ein Lebensprozess, der sich namentlich in den Arterien abspielt.

## 4. Der Puls.

Unsere Vorstellung über die Entstehung des Pulses und der Pulsfrequenz war der Harvey'schen Theorie, nach der das zirkulierende Blut unter periodisch wiederkehrenden Wellenbewegungen die Arterien hindurch strömen sollte, angepasst.

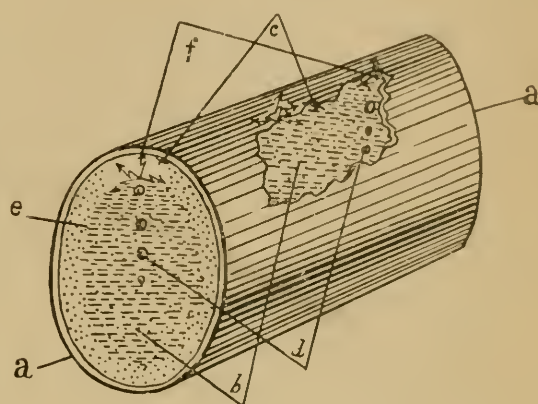
Gegen diese Vorstellung hat sich in den letzten Jahren teils leiser Zweifel teils direkter Widerspruch erhoben. Indessen hielt man es für sehr schwierig, die mannigfachen Pulserscheinungen ohne Blutzirkulation zu erklären. Durch tieferes Studium gelang es jedoch uns, hierüber einiges Licht zu verbreiten: In den Abhandlungen S. 164 und S. 175 wiesen wir nach: 1. dass sich Kohlensäure in dem Arterienblute portionsweise bildet; 2. dass die einzelnen $CO_2$-Portionen aus dem Blute in Form von Gasbläschen in bestimmter Reihenfolge entweichen; 3. dass jede Portion

Kohlensäure in den Arterien mit freiem Kohlenstoff in Berührung kommt und nach der Gleichung $CO_2 + C = 2CO$ zu Kohlenoxyd umgewandelt wird.

Da nun dieser Umwandlung zufolge, das Gas des Blutes sein Volumen plötzlich verdoppelt, so muss es in den Arterien explosiv wirken, und die Explosion dieses Gases sei in letzter Instanz als Ursache des Pulses anzusehen.

Näheres über die Einzelheiten des Vorganges, welcher eine Anzahl Pulse zu gleicher Zeit in den Arterien zu erzeugen vermag, lehrt folgende Betrachtung. Es sei (Figur XXI.) a) das Blutgefäss im Querschnitt betrachtet; b) die Blutflüssigkeit, welche ringsumher von Blutgasen und Dämpfen (e) umgeben ist (näheres hierüber S. 171); c) der freie Kohlenstoff, durch kleine Sternchen versinnbildlicht (s. S. 175); d) die einzelne Portionen der Kohlensäure durch kleine Kreise illustriert (näheres über die Bildung der Kohlensäure s. S. 175). Es werden indes die sämtlichen in einem und demselben Augenblick in dem Arterienblute entstandenen $CO_2$-Portionen aus dem Blute gleichzeitig verdrängt, so dass sie in einem Moment mit dem Kohlenstoff (c) in Berührung kommen; gleichzeitig werden die Kohlensäureportionen zu Kohlenoxyd umgewandelt (s. S. 176), wobei das Gas sein Volumen plötzlich verdoppelt und mit Lebhaftigkeit explodiert. Eine grosse Anzahl von Gasexplosionen kommt auf diese Art und Weise zu gleicher Zeit in den Arterien zu Stande, wenn das arterielle Blut durchgehends gleichmässig elektrisch, alkalisch und temperiert ist.

Fig. XXI.




Jede einzelne Gasexplosion, die in Figur XXI. durch die Zickzackpfeile (f) veranschaulicht ist, übt nun einen Pulsschlag gegen die Gefässwand aus, dessen Stärke von der Menge des explodierten Gases abhängt. Hiernach erklären sich von selbst die mannigfachen Pulsarten, wie Puls magnus, Puls parvus, Puls durus, Puls mollis u. s. w.

In dem Moment, wo die Gasexplosionen abgelaufen sind, entsteht von neuem in dem arteriellen Blute (b) eine bestimmte Menge von Kohlensäure, die in Form von Gasbläschen (d) aus dem Achsenstrom entweicht, um sich mit dem Kohlenstoff, (c) nach der Gleichung $CO_2 + C = 2CO$ zu Kohlenoxyd unter explosiven Erscheinungen umzusetzen.

Dieser Vorgang wiederholt sich etwa 75mal in einer Minute, wenn die Temperatur des arteriellen Blutes etwa 38,4° beträgt. Je höher die Blutwärme steigt, und je mehr das Blut elektrisch ist, umso grösser wird die Zahl der im Arterienblute entstandenen $CO_2$-Portionen, und da nun jede $CO_2$-Portion einen Pulsschlag hervorbringt, so müsste sich die Zahl der Pulsschläge in der Minute bei Steigerung der normalen Blutwärme vermehren und beim Sinken der Blutwärme vermindern. In der That steigt und fällt die Pulsfrequenz mit der Körpertemperatur.

Der weitgehendste Beweis für die Richtigkeit der neuen Lehre von der Pulsentstehung ergiebt sich aus der Thatsache, dass, wenn die Blutwärme in einzelnen Territorien des Gefässgebietes künstlich gesteigert wird, die Zahl der Pulsschläge in denselben grösser, als in den übrigen ist. Hiernach findet die bekannte Erscheinung, dass die Ohrenarterie des Kaninchens eine von den anderen Arterien unabhängige Pulsfrequenz hat, ihre Erklärung in dem Temperaturunterschiede, welcher zwischen der Temperatur des Blutes der Ohrenarterie und der des Aortenblutes besteht. Ebenso erklärt sich die Pulslosigkeit der kalten Füsse im hohen Alter. Hierher gehört noch die Bemerkung, dass ein Individuum im hypnotischen Zustande an der einen Art. radialis 95 und an der andern 103 Pulsschläge in der Minute zählen liess.

Der Puls giebt uns eine Auskunft über die Grösse der Bildung und Reduktion der $CO_2$ zu $2\,CO$, ein elektrochemischer Lebensprozess, welcher sich in den Arterien in der Weise, wie im linken Herzen (s. S. 165) abspielt und durch die Blutwärme gewissermassen reguliert wird.

### 5. Die Töne der Arterien.

Legt man das Ohr mit Hilfe des Stethoskopes an eine oberflächliche Arterie, so hört man ein periodisch wiederkehrendes Geräusch, welches einen explosiven Charakter (tick, tick) hat und Ton der Arterien genannt wird.

Über die Entstehung dieses Tones scheinen uns nachstehende Sätze die gewünschte Aufklärung zu geben:

Wir haben aus dem vorerwähnten Beweismaterial entnommen, dass der Pulsschlag durch die periodisch wiederkehrende Gasexplosion, welche ca. 70mal in der Minute bei normaler Blutwärme in den Arterien auftritt (s. S. 178), hervorgerufen wird. Da sich Blutgase und Dämpfe in den Arterien (s. S. 171) befinden, so steht nichts der Vorstellung entgegen, dass die Blutgase und Dämpfe durch den Pulsschlag plötzlich erschüttert werden.

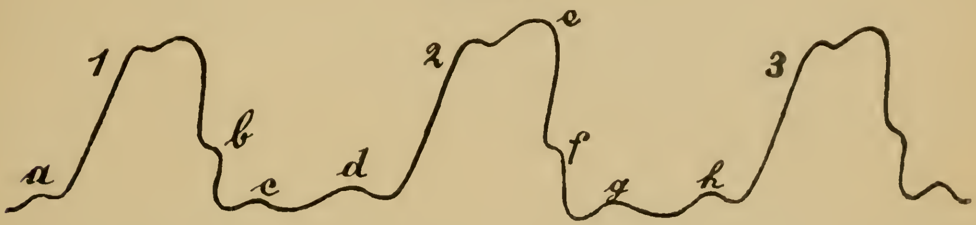
Indem jede plötzliche Erschütterung flüchtiger Körper, hervorgebracht durch plötzliches Freiwerden einer verdichteten oder einer eben entwickelten Gasmenge, ein klangartiges Geräusch erzeugt, haben wir guten Grund zu folgern, dass die

Töne in den Arterien durch die plötzliche Erschütterung der Blutgase hervorgerufen werden, die ihrerseits durch den Pulsschlag bedingt ist.

### 6. Die pulsatorischen und respiratorischen Druckschwankungen in den Arterien.

Setzt man in eine Arterie ein Manometer ein, so zeigt dasselbe sowohl bei jedem Pulsschlag als auch bei jedem Atemzuge ein Schwanken des Blutdruckes an, weshalb man von pulsatorischen und respiratorischen Blutdruckschwankungen sprechen kann. Ein sehr anschauliches Bild von der Grösse dieser Blutdruckschwankungen giebt die nebenstehende Carotis-Druckkurve (s. Fig. XXII), an der die pulsatorischen Druckanstiege mit Ziffern und die respiratorischen mit Buchstaben bezeichnet sind.

Figur XXII.




Was die Ursache der pulsatorischen Blutdruckschwankungen betreffe, so ist es klar, dass jede plötzliche Entwickelung von Kohlenoxyd in den Arterien einen Druckanstieg verursachen muss. Dass sich Kohlenoxyd in den Arterien plötzlich entwickelt und den Pulsschlag hervorbringt, geht aus den vorhergehenden Abhandlungen deutlich hervor. Durch die plötzliche Gasentwickelung in den Arterien wird nicht nur der Pulsschlag erzeugt, sondern auch bei jedem Pulsschlag (Pulswelle) das Arterienrohr erweitert, wovon man sich mit blossem Auge an einer freigelegten Arterie überzeugen kann.

Bei jeder Exspiration steigt der Druck in den Arterien um 20—30 mm und sinkt um gleichviel bei jeder Inspiration. Die respiratorische Blutdrucksteigerung erklärt sich durch die periodisch wiederkehrende Beschickung der Arterien mit Blutflüssigkeiten und Gasen (S. 161). Würde ein Teil des Lungenblutes nicht in kurzen Pausen, d. h. während jeder Exspiration, wo die Lungengefässe zusammengepresst erscheinen, in das Herz und von da in die Arterien überführt, so könnte der Druck in den Arterien nicht um 20—30 mm während der Exspiration steigen.

Da Blut während der Inspiration vom linken Herzventrikel in die Arterien nicht geschafft wird (S. 160), und da die Arterien während der Inspiration einen Teil von ihrem flüchtigen Inhalt an die umliegenden Gewebe abgeben, so muss während der Inspiration der Druck in den Arterien sinken.

Diese Erfahrung lässt sich mit anderen Worten folgendermassen ausdrücken: Durch die Blutmenge, welche während der Exspiration (S. 161) aus dem linken Ventrikel in die Arterien übertritt, wird der Druck in den Arterien um 20—30 mm gesteigert; er sinkt um gleichviel bei der nächstfolgenden Inspiration infolge der Abgaben der Arterien an flüchtigen Stoffen, und neben den respiratorischen Schwankungen macht er noch pulsatorische Schwankungen von wenigen Millimetern, welche durch die plötzliche, periodisch wiederkehrende Gasentwickelung in den Arterien hervorgerufen werden.

### 7. Ausgaben der Arterien an flüchtigen Blutpartikelchen.

Die Arterien, welche nur während der Exspiration (S. 161) mit Lungenblut beschickt werden, geben nicht, wie man früher glaubte, Blutflüssigkeit, sondern bloss flüchtige „Blutpartikelchen", deren Durchmesser der einer Pore der Arterienwand nicht übersteigt, an die umliegenden Gewebe ab.

Zur Veranschaulichung dieses Vorganges möge hier nachstehendes Experiment Erwähnung finden:

Wird eine grössere Arterie in eine geschlossene Rohrleitung eingeschaltet und mit Blut- und Wasserdampf beschickt, so bemerkt man, wenn man einen mässig starken elektrischen Strom durch die Blutflüssigkeit leitet und das Lumen der Arterie von Zeit zu Zeit verkleinert, Dämpfe mit „Blutpartikelchen" geschwängert vom Innern der Arterie aufsteigen, welche sich an der Glasdecke des Apparates kondensieren zu Tröpfchen destillierten Blutes.

Die poröse Arterienwand stellt gewissermassen ein grosses Filter dar, durch das nur leicht diffusible Gase, Moleküle flüchtiger Verbindungen und Wasserdampf hindurchtreten können, während Blut auf dem Filter zurück bleibt.

Diese Vorstellung lässt sich noch stützen durch die Thatsache, dass die feinen Arterien stets blind endigen und wasserdicht sind (näheres s. S. 168 „Untersuchungen der Arterienwände auf Resistenz").

Um die Faktoren kennen zu lernen, welche die Ausgaben der Arterien an flüchtigen Blutpartikelchen vermitteln, muss noch die Spannung der in den Arterien und dem Körpergewebe befindlichen Gase betrachtet werden. In den Arterien ist die Spannung der Gase viel grösser als in den Geweben. Die mittlere Spannung der Gase des Gewebes verhält sich zu der mittleren Spannung der in den Arterien befindlichen Gase wie 1 : 12, mithin ist zwischen den Arterien und den Geweben eine Druckdifferenz nachgewiesen.

Da nun die flüchtigen Blutpartikelchen das Bestreben haben, unter Annahme elektrischer Ladungen diese Druckdifferenz auszugleichen, so steht nichts dem

Schlusse entgegen, dass die flüchtigen Blutpartikelchen, deren Durchmesser den einer Pore der Arterienwand nicht übersteigt, mit grosser Gewalt aus den Arterien in die umliegenden Gewebe strahlenförmig eindringen. Auf diese Art und Weise werden die Gewebe mit lebender, d. h. thätiger elektrischer Energie und mit denjenigen Stoffen versorgt, welche zur Entwickelung der verschiedenen Gewebe und Unterhaltung des tierischen Organismus erforderlich sind.

### 8. Gerinnung des Blutes.

Die Gerinnung des Blutes, welche dem Gesamtblute nur unter gewissen Verhältnissen zukommt, ist eine merkwürdige Erscheinung, deren Erklärung eine schwierige Aufgabe ist. Wir wollen hier versuchen, ein Bild von dem Vorgang der Blutgerinnung zu entwerfen: In diesem Kapitel wurde an mehreren Stellen der elektrochemische Prozess behandelt, dem die Bestandteile des Blutes anheimfallen. In wie weit sich die Mineralstoffe innerhalb der Blutbahn verändern, wurde oben bereits dahin entschieden, dass Kalk, Schwefel etc. bei 38,4 $^{0}$ unter dem Einflusse des elektrochemischen Stromes in den Blutgefässen ihren Wassergehalt nach und nach verlieren.

Da nun schwefelsaurer Kalk ($CaS_3$) oder Gipsstein, wenn er sein Krystallwasser verliert, im hohen Grade die Fähigkeit besitzt, eine erhebliche Menge von Wasser zu absorbieren und zu binden, so liegt die Vermutung nahe, dass die kalkhaltigen Verbindungen des Blutes, wenn sie dem Einfluss des elektrischen Stromes entzogen worden sind, erhebliche Menge von Blutflüssigkeit absorbieren und binden können. Sollte nicht die Zubereitung des sogenannten Kalkkittes aus wenig gebranntem Kalk und Eiweiss als eine Ahnung unserer Vorfahren vom tiefsten Wesen künstlicher Eiweissgerinnung gedeutet werden dürfen? Jedenfalls haben wir es hier zu thun mit einer Hilfsvorstellung, die man gegenüber den Vorgängen der natürlichen Blutgerinnung selbst nur bis zum gewissen Punkt ernst nehmen dürfe.

Die Frage, weshalb das arterielle Blut schneller, als das venöse gerinnt und der arterielle Blutkuchen fester, als der venöse ist, erklärt sich aus der Erfahrung, dass die kalkhaltigen Verbindungen einen Teil ihres Wassergehaltes in den Venen und den Rest in den Arterien verlieren. Je grösseren Wasserverlust die kalkhaltigen Verbindungen des Blutes erleiden, desto grössere Mengen von Blutflüssigkeit können sie absorbieren und binden. Die so gebundene, d. h. geronnene Blutflüssigkeit stellt den sogenannten Blutkuchen dar.

Man hat bisher die Blutgerinnung auf drei Faktoren zurückgeführt, diese sind folgende: Das Fibrinferment, die fibrinogene und fibrinoplastische Substanz. Wie diese drei Faktoren die Blutgerinnung hervorbringen können, ist nicht zu sagen,

während man nach der obigen Auffassung die Einzelheiten bei dem Vorgange der Blutgerinnung in grossem und ganzem übersehen kann.

Die Vorstellung, welche wir uns vom Standpunkte heutigen Wissens über den Vorgang der Blutgerinnung machen können, ist folgende: Die im Blute befindlichen kalkhaltigen Moleküle, welche unter dem Einflusse der Elektrolyse in der Blutbahn ihren Wassergehalt verloren haben, können ausserhalb der Gefässe eine bestimmte Menge von frischer Blutflüssigkeit absorbieren und so fest binden, dass dadurch die Blutflüssigkeit zu fest weichem Körper, Blutkuchen umgewandelt wird.

### 9. Die Farbe des Arterienblutes.

Die am meisten verbreitete Ansicht über die Entstehung der hellroten Farbe des Arterienblutes war die, dass das dunkelrote Venenblut auf seinem Wege durch die Lunge Sauerstoff aus der Atmosphäre aufnimmt und dafür Kohlensäure abgiebt, ein Vorgang, der die Arterialisation des Blutes bedingen soll. Bei kritischer Durchsicht der Gründe, welche für diese Ansicht herangezogen worden sind, lässt sich aber nicht verkennen, dass sie nur dem starren Schema des vermeintlichen Kreislaufes Rechnung trägt.

Zur Rechtfertigung dieser Behauptung führen wir folgende Thatsachen an: Das venöse Blut wird in den Venen (s. S. 94) selbst aus flüchtigen Stoffen, die aus dem Körperinnern stammen, bereitet. Mit dem Venenblute wird die Pulmonalarterie diskontinuierlich beschickt. In der Pulmonalarterie wird die Blutflüssigkeit, wie in einer Retorte durch die tierische Elektricität (s. S. 117) auf Jonen verarbeitet. Ein Übertritt der Blutflüssigkeit aus den feineren Pulmonalarterien in die Lungenvenen findet nicht statt.

Da nun das Venenblut in der Pulmonalarterie auf flüchtige Körper verarbeitet wird, so kann man von einer Zirkulation und Arterialisation des Blutes nicht sprechen.

Das Arterienblut bekommt seine normale Farbe im Moment seiner Entstehung. Was die Entstehung des arteriellen Blutes betreffe, so haben wir in diesen Abschnitt erklärt:

1. dass die Lungenvenen während der Inspiration aus der Pulmonalarterie flüchtige Blutpartikelchen, aus dem Körperinnern dampfförmiges Rohmaterial und aus der Atmosphäre Sauerstoff beziehen und 2. dass das arterielle Blut aus einem Gemisch chemisch verschiedener Substanzen in den Lungenvenen selbst gebildet wird (s. S. 130).

Die chemische Zusammensetzung des arteriellen Blutes ist eine ganz andere, als die des venösen, mithin der Farbenunterschied begründet; denn die Farbe des Blutes

hängt in erster Reihe von seinem relativen Gehalt an gewissen eisenhaltigen Eiweissverbindungen (Hämoglobin, Hämoglobulin), deren Entstehung mit der Bildung der Blutkörperchen zusammentrifft, ab.

### 10. Erzeugung der Wärme in den Arterien.

Im allgemeinen besitzt das Blut die höchste Temperatur des Körpers. Das Arterienblut hat eine Temperatur von 38,4° C. (C. L. Bernard u. a.). Die Wärme, welche das Aortenblut besitzt, wird in ihm selbst fortwährend erzeugt, und zwar einmal durch die elektrochemischen Prozesse, welche unaufhörlich in dem Arterienblute ablaufen, zweitens durch die Reibung der Blutpartikelchen, welche infolge der periodisch wiederkehrenden Gasexplosion (s. S. 176) in den Arterien entsteht.

Die Arterien sind zentrale Wärmequellen der einzelnen Organe, in denen sie den Mittelpunkt der Wärmeausstrahlung bilden.

### 11. Der Zweck der Arterien.

Die Ermittelungen der im Arteriensystem sich abspielenden Prozesse haben uns sichere Aufschlüsse über den Zweck der Arterien gebracht. Zunächst möge hier des Prozesses der Stoffumwandelung gedacht werden. Die Moleküle gewisser Pflanzenkost besitzen eine sehr geringe Resistenz gegen Kälte und Hitze, daher müssen sie im tierischen Organismus, namentlich in den Arterien durch andauerndes Durchglühen von einer Resistenzstufe auf eine höhere transformiert werden; die so transformierten Stoffe sind bis zu einem bestimmten Grade kälte- und feuerbeständig*) und können beim Aufbau des Tierkörpers ihre Verwendung finden. Je länger die Stoffe in den Arterien verweilen, desto besser können sie der Siedhitze Resistenz leisten. Hiernach erklärt sich die Erscheinung, dass Fleisch erwachsener Tiere kräftiger ist, als das junger Tiere und dass dieses der Siedhitze nicht so grossen Widerstand wie jenes leistet. Der weitgehendste Beweis für die Transformation der Nährsubstanzen im Tierkörper ergiebt sich aus der Erfahrung, dass das Nahrungseiweiss in den Arterien zu Organeiweiss (s. S. 172) umgewandelt wird, einer der wichtigsten Lebensprozesse, in dem sich der Zweck der Arterien offenbart.

Bei Besprechung des Zweckes der Arterien scheint uns die Frage von Wichtigkeit, ob sich im Blute ein Klebstoff im Verein mit der Bildung der Blutplättchen bildet. Das Resultat der diesbezüglichen Untersuchungen ist folgendes:

---

*) Mit dem Alter nimmt die Feuerbeständigkeit der Lungengewebe zu. Dies folgt aus der Thatsache, dass die Lunge eines Erwachsenen dem Feuer bedeutend länger widersteht, als die Lunge einer Kinderleiche.

Der Klebstoff, welcher an den Blutplättchen haftet, wird aus flüchtigem Roh-material unter dem Einfluss des starken elektrischen Stromes (s. S. 172) in den Arterien künstlich zubereitet. Der Zweck der Zubereitung von Klebstoff in den Arterien ist im grossen und ganzen aus nachstehender Betrachtung zu ersehen.

Das Material, aus dem sich ein Tierkörper zusammensetzt, findet bei der Entwickelung der tierischen Organismen, denen es zur Nahrung dient, bloss zum Teil seine Verwendung, weil die Sehnen, Haut und Horngebilde, Knorpel, Knochen und eine Menge von elastischem Gewebe, Klebstoffe etc. unverdaulich sind. Die Moleküle dieser Körper werden, wie oben erklärt wurde, aus gewissen Grundstoffen im tierischen Organismus selbst gebildet und mit einem Klebestoff versehen, dessen Klebekraft die verschiedenen Moleküle zusammenhält, ein mechanischer Entwickelungsakt, der bereits von vereinzelten Forschern bei der Bildung der Blutkörperchen und des weissen Trombus in Betracht gezogen wurde, wie aus folgendem ersichtlich ist.

G. Hayem, der die Bildung der Blutkörperchen studierte, kam zu der Überzeugung, dass die Blutplättchen, namentlich ihre Klebrigkeit mit der Bildung der Blutkörperchen im Zusammenhange stehe. Auch ihr hohes spezifisches Gewicht, im Verein mit ihrer Klebrigkeit scheint ihnen eine wichtige Stellung bei der Blutstillung durch die Bildung des sogen. weissen Trombus zu geben (Löwit, Eberth und Schimmelbusch).

Die Arterien, welche sich durch ihre starken Wände auszeichnen, werden bei jeder Exspiration (s. S. 161) vom linken Herzventrikel aus mit Blut beschickt, und aus diesem Blute wird Gas und Dampf in den Arterien, wie in einem Röhrenkessel gebildet (s. S. 174). Gas und Dampf in einem geschlossenen Röhrenkessel bilden heisst Kraft erzeugen. Je stärker und dichter die Arterienwände sind, desto grössere Spannkraft wird in den Arterien selbst erzeugt. Nach Verletzung einer Arterie entweicht die Spannkraft der Blutgase, und mit ihrem Entweichen schwindet das Leben. Demnach ist der Zweck der Arterien, eine lebendige Kraft zu erzeugen, was im Verein mit der Stoffumwandlung und Klebstoffbildung einhergeht. Wie diese lebendige Kraft in die verschiedenartigsten Leistungen innerhalb des Körpers umgesetzt wird, darüber später.

# Register.